

**Univerzita Karlova v Praze
Lékařská fakulta v Hradci Králové**

DISERTAČNÍ PRÁCE

**Univerzita Karlova v Praze
Lékařská fakulta v Hradci Králové**

**Doktorský studijní program
Lékařská biofyzika**

Elektronická podpora výuky
Využití konceptu mnohastupňového e-learningu
při výuce lékařské biofyziky

Electronic support for learning
Use of the multiple steps e-learning concept
in medical biophysics

MUDr. Tomáš Nosek

Školitel: doc. Ing. Josef Hanuš, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji tímto, že jsem doktorskou disertační práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje. Zároveň dávám souhlas k tomu, aby tato práce byla uložena v Lékařské knihovně Lékařské fakulty UK v Hradci Králové a zde užívána ke studijním účelům za předpokladu, že každý, kdo tuto práci použije pro svou publikační nebo přednáškovou činnost, se zavazuje, že bude tento zdroj informací řádně citovat.

Souhlasím se zpřístupněním elektronické verze mé práce v informačním systému Univerzity Karlovy v Praze.

Hradec Králové, 2012

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval všem, kteří jakýmkoli způsobem přispěli k vytvoření této dizertační práce.

Můj dík patří především doc. Ing. Josefu Hanušovi, CSc., za odborné vedení a cenné rady, Mgr. Alešovi Bezroukovi, PhD. za jeho cenné rady i pomoc při přípravě kurzů a dalším zpracování výsledků a v neposlední řadě Mgr. Jiřímu Záhorovi, PhD., který se valnou měrou zasloužil o statistické zpracování výsledků. Dále nesmím zapomenout na celý kolektiv lékařské biofyziky, bez kterého by nebyla realizace projektu možná. Rovněž bych rád poděkoval celé mě rodině za trpělivost a morální podporu.

1 OBSAH

1	Obsah.....	3
2	Použité zkratky.....	6
3	Úvod, cíl práce	8
4	Systemy pro řízení výuky	9
4.1	Změna architektury LMS v průběhu času	9
4.2	LMS a standardizace.....	11
4.2.1	IEEE Learning Technology Standards Committee	11
4.2.2	IMS Global Learning Consortium	13
4.2.3	AICC	15
4.2.4	ADL, Advanced Distributed Learning	15
4.3	Stručný přehled dostupných systémů	16
5	Moodle LMS	18
5.1	První setkání s Moodlem	19
5.1.1	Uvnitř kurzu	21
5.1.2	Role v Moodlu	22
5.1.3	Moduly kurzu.....	22
5.2	Moodle z pohledu tvůrce kurzu.....	24
5.2.1	Filozofie tvorby kurzů	25
5.2.2	Struktura kurzu, jeho tvorba	26
5.2.3	Hodnocení aktivit v kurzu	31
6	Adaptivita v e-Learningu.....	33
6.1	MSL koncept výuky - mnohastupňový e-Learning	34
6.2	Skutečně adaptivní hypermediální systémy.....	36
7	Evaluace e-learningu.....	39
7.1	Metodika eLSE, její modifikace pro naše potřeby.....	39
7.1.1	Přípravná fáze.....	40

7.1.2	Modifikace provedené v původní metodice	42
8	E-learningová opora praktické výuky lékařské biofyziky – využití MSL konceptu	46
8.1	Pilotní projekt.....	46
8.1.1	Koncept kurzů.....	46
8.1.2	Popis metodiky vyhodnocení pilotního projektu	49
8.2	Výsledky evaluace kurzů pilotního projektu	51
8.2.1	Kurz CT.....	53
8.2.2	Kurz EKG	56
8.2.3	Kurz UZ.....	59
8.3	Výsledky srovnání výuky bez a s podporou e-learningu.....	62
8.4	Diskuse.....	68
9	Závěr.....	71
10	Literatura	72
11	Přílohy	76
11.1	Dotazník modifikované metodiky eLSE pro evaluaci e-learningu	76
11.1.1	Design systému	76
11.1.2	Dostupnost komunikačních nástrojů	78
11.1.3	Sebehodnotící nástroje	79
11.1.4	Hodnocení uživatelů	80
11.1.5	Struktura kurzu	81
11.1.6	Organizace informací.....	83
11.1.7	Validita zpětné vazby systému.....	85
11.1.8	Subjektivní hodnocení	86
11.2	Typové otázky pro porovnání výuky klasické s elektronickou	87
11.2.1	Typové otázky pro kurz CT	87
11.2.2	Typové otázky pro kurz EKG	88

11.2.3	Typové otázky pro kurz UZ.....	88
11.3	Šablona pro skrývání částí materiálu	90
11.3.1	HTML – index.html.....	90
11.3.2	CSS – main.css	91
11.3.3	Java Script – levelsk.js	92
11.4	Fragmentovaný podkladový materiál kurzu CT	93
11.5	Fragmentovaný podkladový materiál kurzu Ultrazvuku	117
11.6	Fragmentovaný podkladový materiál kurzu EKG	140

2 POUŽITÉ ZKRATKY

3SL	3 Steps Learning – výuka ve třech krocích
ADL	Advanced Distributed Learning
AICC	The Aviation Industry CBT (Computer-Based Training) Committee (AICC)
AT	Abstrakt Task - hodnotící úloha, součást metodiky systémové evaluace e-learningu
CBT	Computer Based Training - vzdělávání postavené na využití počítačů
CSS	Cascading Style Sheets - kaskádové styly jsou jazyk pro popis způsobu zobrazení stránek napsaných v jazycích HTML, XHTML nebo XML
eLSE	e-Learning System Evaluation - evaluační metodika elearningu vypracovaná italskými autory Ardito et. al.
HTML	HyperText Markup Language, je značkovací jazyk pro hypertext.
IMS CP, CP	IMS Content Packaging - specifikace popisující datovou strukturu objektu při výměně mezi systémy
IMS LIP	IMS Learner Information Package Specification
IMS QTI, QTI	IMS Question & Test Interoperability
LMS	learning management systém, systém pro řízení výuky
LOM	IEEE Standard pro Learning Object Metadata
LTSC	IEEE Learning Technology Standards Committee
MSL	Multiple Steps e-Learning – mnoha stupňový elearning – výuka ve více krocích
P2P	peer to peer či point to point, přímé propojení počítače s počítačem v rámci internetu, bodu sítě s jiným, základní vlastnost decentralizovaných sítí pro sdílení obsahu
PDF	Portable Document Format – Přenosný formát dokumentů je souborový formát vyvinutý firmou Adobe pro ukládání dokumentů nezávisle na softwaru i hardwaru

PHP	rekurzivní zkratka PHP: Hypertext Preprocessor, původně Personal Home Page, skriptovací programovací jazyk, určený především pro programování dynamických internetových stránek.
PLATO	Programmed Logic for Automatic Teaching Operations
RDF	Resource Description Framework
SCORM	Sharable Content Object Reference Model vyvinutý ADL
SQL	Structured Query Language, standardizovaný dotazovací jazyk používaný pro práci s daty v relačních databázích např. MySQL
XML	Extensible Markup Language

3 ÚVOD, CÍL PRÁCE

Internet je fenomén, který se postupně stává neoddělitelnou součástí života v naší společnosti. Zkracuje vzdálenosti a spojuje dříve nespojitelné. Sociální sítě boří hranice soukromí, jak ho známe, a dávají mu nový rozměr. S tím, jak technologie čím dál více proniká do našich životů, proniká zároveň do výukového procesu. Důležitější než vlastní přechování informace začíná být díky všudypřítomnosti informačních zdrojů její rychlé nalezení a zhodnocení její platnosti v kontextu daného problému. Klasický způsob výuky je v kontextu nově vyvstávajících potřeb společnosti omezující. Stále více je patrný odklon od pasivního výkladu látky učitelem k aktivnímu učení se a vstřebání individuálně potřebné informace.

Výuku je třeba více individualizovat, přizpůsobit potřebám jednotlivých studentů nejen obsahově, ale i časově a v tom nám může být Internet neocenitelným pomocníkem. Systémy pro řízení výuky umožňují spojit studenta s vyučujícím bez ohledu na čas a místo. Pokud bychom si získávání informací – studium představili jako přesun z místa A do místa B, tak by takový systém bylo možno připodobnit nejspíše ke schodům do metra, tedy k efektivnímu a rychlému transportnímu prostředku. Pokud půjdeme v této představě malinko dál a včleníme do systému vlastnost přizpůsobit se studentovi, mění se rázem tyto schody v pohyblivý eskalátor. Nejen že studentovi zpřístupníme potřebnou informaci v čase a na místě, které si vybere, ale ještě se mu pokusíme ji předložit v pro něj co nejpříjemnější formě.

Cílem práce tedy nebylo nic jiného než vytvořit takový výukový koncept, který by se pokusil individualizovat výuku ve smyslu časovém, místním i obsahovém.

4 SYSTÉMY PRO ŘÍZENÍ VÝUKY

S postupným přesunem výukových aktivit do virtuálního prostoru na Internetu dochází k rozvoji systémů pro řízení výuky neboli LMS (Learning Management System). Tyto systémy řeší otázku e-learningu zpravidla komplexně. Starají se o administrativu a organizaci výuky, zpřístupňují studentům on-line i off-line učební materiály či výukový obsah, integrují nejrůznější on-line nástroje pro komunikaci a řízení studia (nástěnka, diskusní fórum, chat, tabule, evidence aj.). V neposlední řadě pak poskytují nástroje pro vlastní tvorbu e-learningového obsahu. Zajímavou alternativou serverově orientovaných LMS jsou i P2P e-learningové aplikace.

Následující seznam obsahuje přehled běžně dostupných vlastností a funkcí systémů pro řízení výuky (1):

- Autorské nástroje k vytváření výukových kurzů a objektů
- Evidence a správa kurzů
- Evidence a správa žáků
- Evidence hodnocení žáků
- Katalog výukových kurzů a objektů
- Komunikační nástroje
- Správa přístupových práv
- Správa studijních plánů
- Testování a přezkušování žáků
- Úložiště výukového obsahu

Pro všechny tyto funkce je důležitý požadavek na jejich přenositelnost a standardizaci. LMS by měl být otevřený a schopný například snadno a rychle začlenit výukový obsah, vytvořený například před zavedením LMS.

4.1 Změna architektury LMS v průběhu času

Historie elektronických výukových systémů se začala psát v roce 1960, kdy světlo světa spatřil systém PLATO (Programmed Logic for Automatic Teaching Operations), který byl vyvinut na University of Illinois v Urbana-Champaign. V roce 1971 po vzniku Arpanetu (předchůdce sítě Internet) popisuje Ivan Illich ve své knize *Deschooling Society* počítačovou síť pro výukové účely. S postupným rozvojem e-learningu se

ovšem začíná projevovat i potřeba standardizace, a proto v roce 1988 vzniká Aviation Industry CBT (Computer-Based Training) Committee (AICC) jako nejstarší do dnes uznávaná standardizační autorita na tomto poli. LMS systémy, jak je známe dnes, začaly ovšem vznikat až s větším rozvojem Internetu hlavně v devadesátých letech minulého století, kdy v roce 1997 byla vypuštěno WebCT verze 1.0 a založena společnost Blackboard, jen o rok později v roce 1998 začíná Martin Dougiamas přípravné práce na systému Moodle. (2; 3)

První komplexní systémy pro řízení výuky byly často uzavřené monolitické aplikace, jejichž vnitřní struktura byla zpravidla dána historickým vývojem. Ve velké většině šlo totiž původně o systémy s daleko menším záběrem určené například pro podporu výuky v jediném kurzu, ke kterým byla další funkcionalita přidávána až dodatečně. Nutnými důsledky těchto skutečností bylo obtížné propojení s okolními systémy, náročná údržba a nemožnost pružně reagovat na nové nebo specifické požadavky zákazníků.

Do návrhů moderních systémů pro podporu výuky však již zasáhly snahy o standardizaci v oblasti e-learningu, které budou více rozebrány v dalším textu. Dnešní systémy tudíž mají ve valné většině několik společných rysů:

- Rozdělení systému do funkčních komponent s jasnými vzájemnými vazbami.
- Systém je chápán zejména jako poskytovatel (často distribuovaných) služeb s jasně definovanými rozhraními, přičemž množina služeb není dána pevně a může být podle potřeby měněna. V této souvislosti jsou často zmiňovány technologie jako Web Services nebo Enterprise Java Beans (dříve také CORBA a další).
- Orientace na standardizované, nebo alespoň široce používané technologie.

Značná pozornost je v poslední době věnována také adaptivním systémům pro řízení výuky, neboli systémům schopným dynamicky výuku přizpůsobovat potřebám a schopnostem konkrétního uživatele. Jisté formy přizpůsobení můžeme najít už i v existujících systémech. Pokud by ale personalizace měla být realizována opravdu kvalitně a důsledně, vyžádal by si tento aspekt podstatné zásahy do stávajících představ a modelů, což prozatím těmto technologiím brání ve větším rozšíření. (4)

Fenoménem posledních několika let se převážně v zámoří stává m-learning neboli mobilní learning a výuka se tak z klasických počítačů přesouvá na mobilní bezdrátové platformy, jako jsou chytré telefony (tzv. smartphones), netpady (např. I-pad) a netbooky. Téměř všechny komerční systémy již nabízejí moduly upravující zobrazení obsahu a ovládání kurzů na těchto zařízeních, která mají ve valné většině mnohem menší plochu k zobrazení výukového obsahu než klasický osobní počítač a mnohé nedisponují klávesnicí, ale dotykovým ovládáním.

4.2 LMS a standardizace

Mnohočetná znovupoužitelnost vytvořených výukových materiálů je v podstatě jednou ze základních myšlenek, na kterých je elektronická výuka postavena, a které mají přinést posun v dosavadním pohledu na vzdělávání. K tomu, aby bylo možné přenášet data mezi jednotlivými systémy, je nutno specifikovat jejich standardizovanou podobu, proto vznikla řada iniciativ a organizací, které se standardizací v oblasti e-learningu zabývají. Následující text je věnován běžně používaným normám a nejdůležitějším organizacím, které vzdělávací standardy, specifikace a referenční modely vyvíjejí (5; 6).

4.2.1 IEEE Learning Technology Standards Committee

- <http://ieeeltsc.org/>

IEEE Learning Technology Standards Committee (LTSC) vyvíjí kreditované technické standardy, doporučení a průvodce v oblasti vzdělávacích technologií.

Mez nejdůležitější patří:

- IEEE Standard for Learning Object Metadata 1484.12.1 blíže viz níže
- IEEE Data Model 1484.11.1 popisující přenos obousměrný přenos dat mezi LMS a kurzem, jeho cílem je přenositelnost kurzů mezi různými LMS systémy
- IEEE API 1484.11.2 popisuje komunikaci mezi obsahem a softwarem řídícím spouštění a doručování výukového obsahu studentovi a procesy s tím spojené

4.2.1.1 IEEE Standard for Learning Object Metadata 1484.12.1

zkráceně „LOM“ je jedním z nejznámějších standardů, vzešel ze specifikace „IMS Learning Resource Metadata“ a byl vypracován Working Group 12. Součástí standardu LOM je i definice výukového objektu jako „jakékoliv digitální či nedigitální

entity, která může být použita pro výuku, vzdělávání nebo trénink“. Z takto širokého pojetí věci je na první pohled patrné, že s trochou představivosti nelze najít nic, co by se do této definice nedalo zahrnout, z čehož plyne možnost velmi širokého použití tohoto standardu.

Standard LOM definuje celkem 58 metadatových elementů rozdělených do devíti kategorií:

- Obecné údaje
- Životní cyklus
- Meta-metadata
- Technické informace
- Edukativní informace
- Licenční podmínky
- Vztahy
- Anotace
- Klasifikace

Zde je nutné zdůraznit, že všechny elementy jsou nepovinné a tedy i výukový objekt, který není opatřen zcela žádnými metadaty odpovídá standardu LOM. Pevně definovány jsou ovšem možnosti zápisu odpovídajících metadat – jsou celkem tři:

- Resource Description Framework (RDF)
- Extensible Markup Language (XML)
- ISO/IEC 11404 (standardizovaný abstraktní jazyk datových typů)

Z výše uvedeného plyne, že použití samotného Standardu LOM není příliš praktické. LOM je typickým příkladem standardu, který se v čisté podobě používá jen velmi málo. Od vlastního standardu však bylo odvozeno mnoho aplikačních profilů, které jsou naopak využívány velmi hojně. Tyto aplikační profily zohledňují specifické požadavky prostředí, ve kterém vznikly - regionu, instituce, apod. Existují tak například UK LOM Core (pro prostředí ve Velké Británii), CanCore (pro kanadské prostředí), ARIADNE (pro evropské akademické prostředí) a mnoho dalších. Standard LOM a odvozené aplikační profily hrají v dnešní době hlavní roli při popisu výukových objektů pro strojové zpracování.

4.2.2 IMS Global Learning Consortium

- <http://www.imsglobal.org/>

IMS má dva hlavní cíle: 1. Definuje interoperabilitu pro aplikace a služby v oblasti e-learningu, 2. podporuje začleňování IMS specifikací do vzdělávacích produktů a služeb v celosvětovém měřítku. Hlavním výsledkem práce IMS je řada cenných specifikací v oblasti vzdělávání, tyto můžeme rozdělit do několika kategorií:

- Výměna obsahu
 - IMS Content Packaging
 - IMS Question & Test Interoperability (QTI)
- Výměna personálních informací
 - IMS Learner Information Package Specification (LIP)
 - IMS Enterprise
- Popis výuky
 - IMS Simple Sequencing Information and Behavior Model
 - IMS Learning Design
- Popis metadat výukových objektů
 - IMS Learning Resource Meta-data Specification
- Datový model, API, repozitáře
 - IMS Digital Repositories Interoperability Specification.

Následuje podrobnější popis běžně užívaných specifikací:

4.2.2.1 IMS Content Packaging (CP)

v současné poslední verzi Content Packaging v1.2 Public Draft 2 je dnes hojně využívanou specifikací. Základní myšlenka je jednoduchá - každý balíček výukového objektu musí v kořenovém adresáři obsahovat XML soubor s metadaty a popisem další struktury balíčku tzv. manifest, který je rozdělen na tři hlavní části:

- Metadatový popis výukového objektu (nepovinný, doporučené schéma je IEEE LOM)
- Seznam zdrojů (souborů přímo obsažených v balíčku nebo webových odkazů; včetně příslušných metadat a definic vzájemných závislostí)

- Organizace balíčku (popis vnitřní struktury balíčku; v současné době je možné vyjádřit pouze stromovou hierarchii, do budoucna se počítá i s komplikovanějšími modely)

Hlavními přínosy specifikace CP jsou široká podpora metadat, umožňující inteligentní hromadné zpracování výukových objektů, a možnost distribuovat společně všechny důležité součásti balíčku.

4.2.2.2 IMS Question & Test Interoperability (QTI)

je jednou z předních specifikací na poli pro výměnu dat na poli materiálů pro ověřování znalostí. Technicky je QTI, stejně jako CP, založena na značkovacím jazyku XML. Na oficiálních stránkách je dostupná řada příkladů zakódování jednotlivých typů otázek do formátu XML. Realitou ovšem je, že díky složitosti QTI dnes pravděpodobně neexistuje žádný program, který by tuto specifikaci plně podporoval. V naprosté většině případů umí nástroje, které deklarují kompatibilitu s IMS QTI, vytvářet či interpretovat pouze vybranou (větší či menší) podmnožinu všech možných typů otázek. To ale pro praxi není příliš omezující faktor a specifikace QTI je dnes pro zajištění interoperability využívána čím dál častěji.

4.2.2.3 IMS Learner Information Package Specification (LIP)

popisuje import a export dat studenta a je tak specifikací určenou pro vzájemnou spolupráci studijních informačních systémů a dalších informačních systémů. Model definuje jak strukturu vlastních dat, tak i metadata o datech. Informace v datové struktuře o studentovi jsou rozděleny do jedenácti hlavních kategorií:

- identifikace - základní informace o studentovi (jméno, příjmení, adresa apod.);
- kariéra - informace o průběhu studia;
- kvalifikace, certifikáty a licence;
- aktivity - popis různých aktivit vztažených k výuce;
- souhrn - záznam používaný pro přehled o vědeckých úspěších;
- zájmy - popis zájmů studenta;
- znalosti - znalosti a schopnosti získané ve výuce;
- sdružení - členství v různých organizacích;
- dostupnost - jazykové schopnosti, handicap apod.
- bezpečnostní klíč - sada hesel a bezpečnostních klíčů;

- vztah - vztahy mezi jednotlivými kategoriemi.

Metadata jednotlivých prvků obsahují časové informace o vytvoření a době platnosti dat, indexy a informace o ochraně dat.

IMS LIP je poměrně flexibilní a umožňuje rozšíření jednotlivých částí. V současné době existuje standard, který rozšiřuje část "dostupnost" o nové informační prvky a nazývá se IMS Learner Information Package Accessibility for LIP Conformance Specification.

4.2.3 AICC

- <http://www.aicc.org/>

The Aviation Industry CBT (Computer-Based Training) Committee (AICC) je mezinárodní asociací vzdělavatelů, kteří jsou zaměřeni na Computer-Based Training. AICC vyvíjí řadu celosvětově uznávaných doporučení pro CBT. Mnoho AICC návodů a doporučení lze nalézt na následujícím internetovém odkazu:

- <http://www.aicc.org/pages/down-docs-index.htm>

4.2.4 ADL, Advanced Distributed Learning

- <http://www.adlnet.org/>

Organizace ADL koordinuje úsilí mezi vládními úřady, průmyslem a akademickou sférou v oblasti e-learningu. Usiluje o tvorbu standardů, které podporují interoperabilitu vzdělávacích nástrojů a obsahu v celosvětovém měřítku. Nejznámějším de-facto standardem, vyvinutým ADL, je SCORM (Sharable Content Object Reference Model), je sada standardů a specifikací, které byly spojeny do sady "technických knížek". Téměř všechny specifikace jsou vzaty z jiných organizací. SCORM ve své poslední verzi (4 edice, r. 2004) si lze představit jako jednotlivé knížky, které dohromady tvoří knihovnu. SCORM vysvětluje programátorům, jak psát kód způsobem, který bude fungovat s různým software pro e-learning.

Pravidla pro tvorbu obsahu dle SCORM 2004 lze nalézt na následující internetové adrese:

- http://www.adlnet.gov/Technologies/scorm/SCORMSDocuments/SCORM%20Resources/ADLGuidelines_V1PublicComment.zip

Nejnovější SCORM produkty, služby a zdroje najdete na postupně se plnícím C2S – SCORM portálu.

- <http://www.conform2scorm.com/>

4.3 Stručný přehled dostupných systémů

LMS aplikací je řada - od těch jednoduchých přes nejrozumnější LMS z akademické sféry až po rozsáhlé a složité komerční aplikace (Edoceo, Fronter, Blackboard, Adobe Connect). Řada LMS je šířených i jako free nebo open source software (například v Čechách oblíbený Moodle či Claroline). Podrobný popis a srovnání běžně používaných LMS nabízí stránky

- <http://www.edutools.info>

Následující tabulka shrnuje běžně dostupná řešení a dělí je na komerční a volně dostupná.

Tabulka 1: Přehled běžně užívaných LMS

Název	Web	CZ lokalizace	Typ	Poznámka
.LRN	http://www.dotlrn.org	ne	open source	GPL licence
ATutor	http://atutor.ca	částečná	open source	GPL licence
Claroline	http://www.claroline.net	ne	open source	GPL licence
ILIAS	http://www.ilias.de	ne	open source	GPL licence
LON-CAPA	http://www.lon-capa.org	ne	open source	GPL licence
metacoön	http://www.metacoön.net	ne	open source	GPL licence
Moodle	http://moodle.cz	ano	open source	GPL licence
OLAT	http://www.olat.org	ano	open Source	Apache 2.0 Open Source License
Sakai Project	http://sakaiproject.org	ne	open source	ECL licence
Adobe Connect	http://www.adobe.com	ano	komerční	
ANGEL Learning	http://www.angellearning.com	možná	komerční	
Blackboard	http://www.blackboard.com	možná	komerční	
CCNet	http://www.zumosoftware.com	možná	komerční	
Certpoint	http://www.certpointsystems.com	ne	komerční	
Desire2Learn	http://www.desire2learn.com	ne	komerční	
Dokeos	http://www.dokeos.com	ne	komerční, open source	základní verze zdarma
eCollege	http://www.ecollege.com	ne	komerční	
Edoceo	http://www.edoceo.cz	ano	komerční	
Fronter	http://com.fronter.info	ne	komerční	
JoomlaLMS	http://www.joomlams.com	ne	komerční	
Pass-port	http://www.pass-port.org	ne	komerční	
SharePointLMS	http://www.sharepointlms.com	ne	komerční	
WebCT	http://www.blackboard.com	ano	komerční	nyní Blackboard Vista,CE

5 MOODLE LMS

Vývojářská komunita definuje Moodle jako **softwarový balík určený pro podporu prezenční i distanční výuky prostřednictvím online kurzů dostupných na WWW** (7; 8).

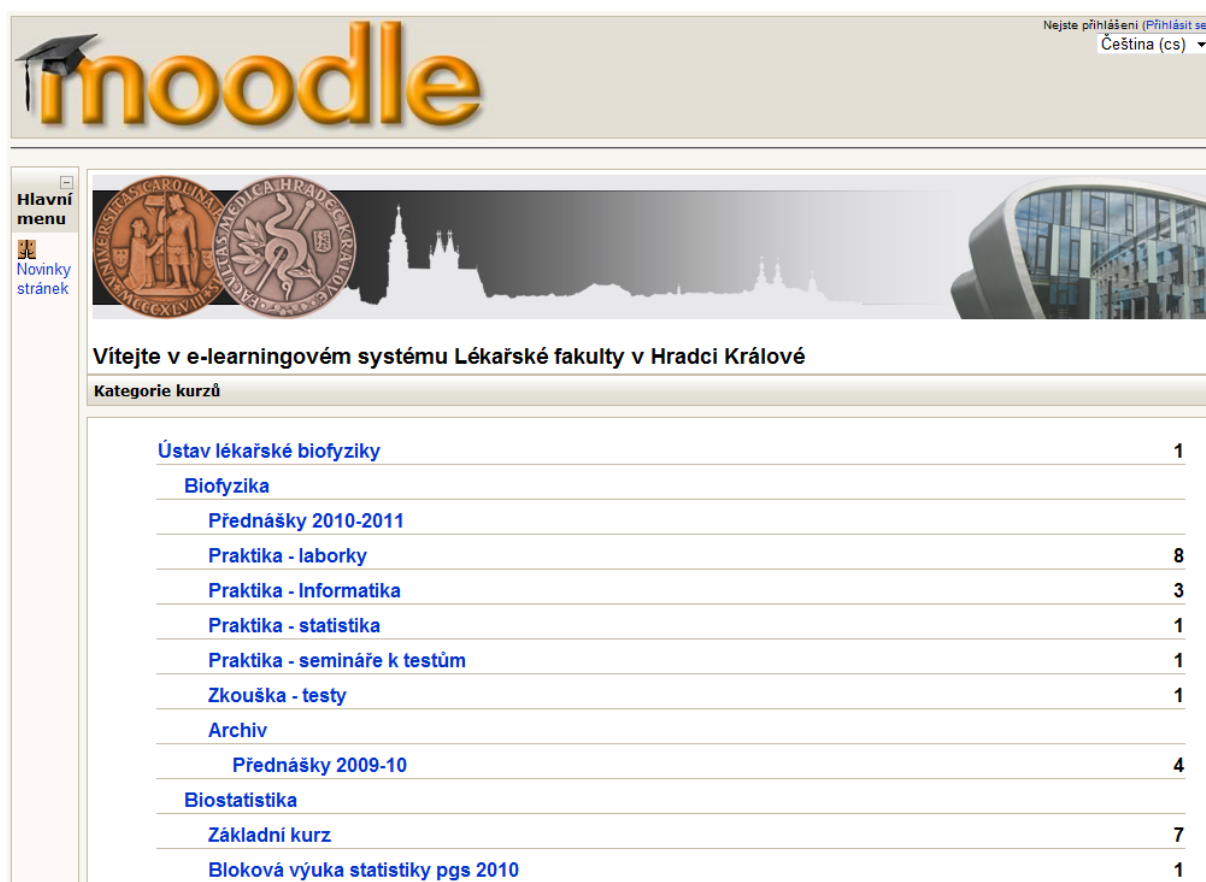
- Moodle je vyvíjen jako nástroj umožňující realizovat výukové metody navržené v souladu s principy konstruktivisticky orientované výuky.
- Moodle umožňuje či podporuje snadnou publikaci studijních materiálů, zakládání diskusních fór, sběr a hodnocení elektronicky odevzdávaných úkolů, tvorbu online testů a řadu dalších činností sloužících pro podporu výuky.
- Moodle je volně šiřitelný software s otevřeným kódem. Běží na Unix, Linux, Windows, Mac OS X, Netware a na jakémkoliv dalším systému, který podporuje PHP. Data jsou ukládána v databázi MySQL, PostgreSQL, MS SQL nebo Oracle.
- V současné době jsou minimální požadavky pro běh aktuální verze 1.9.9: PHP 4.3.0, MySQL 4.1.16 nebo Postgres 8.0 nebo MSSQL 9.0 nebo Oracle 9.0

V počátcích rozvoje elektronického vzdělávání na našem pracovišti jsme hledali dostatečně robustní, modulární a lokalizovaný systém jako základ pro naši e-learningovou výuku. Ačkoli by tyto požadavky splňovalo zcela jistě více systémů, jedinečnost Moodlu v našich podmínkách je dána podporou silné české a slovenské uživatelské komunity, které v současnosti nemůže konkurovat žádný jiný systém. Další nezanedbatelnou výhodou obzvláště v českém školství je i fakt, že je Moodle distribuován zdarma s otevřeným zdrojovým kódem.

Oficiální stránky Moodlu jsou:

- <http://moodle.org>
- <http://moodle.cz>

5.1 První setkání s Moodle



Nejste přihlášení ([Přihlásit se](#))
Čeština (cs) ▼

Hlavní menu
Novinky stránek

Vítejte v e-learningovém systému Lékařské fakulty v Hradci Králové


Kategorie kurzů

Ústav lékařské biofyziky	1
Biofyzika	
Přednášky 2010-2011	
Praktika - laborky	8
Praktika - Informatika	3
Praktika - statistika	1
Praktika - semináře k testům	1
Zkouška - testy	1
Archiv	
Přednášky 2009-10	4
Biostatistika	
Základní kurz	7
Bloková výuka statistiky pgs 2010	1

Obrázek 1: Hlavní obrazovka portálu Moodle na LFHK

Moodle je intuitivní interaktivní prostředí a pro práci s ním se od studenta vyžaduje pouze základní znalost ovládání webového prohlížeče. Není vyžadováno striktní použití nějakého prohlížeče, v základu Moodle funguje ve všech běžně dostupných prohlížečích (Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera, Google Chrom či Safari). Vzhledem ke zkušenostem uživatelské komunity, je však mnohými doporučováno užívat Mozilla Firefox, jelikož přesně dodržuje předepsané standardy.

Na úvodní stránce jsou většinou zobrazeny přístupné kategorie kurzů s jednotlivými kurzy. Před přístupem do kurzu je nutné se ve valné většině do systému přihlásit.



Vracíte se na tyto stránky?

Přihlaste se zde pomocí svého uživatelského jména a hesla
(Musíte povolit 'cookies' ve svém prohlížeči) ?

Uživatelské jméno

Heslo

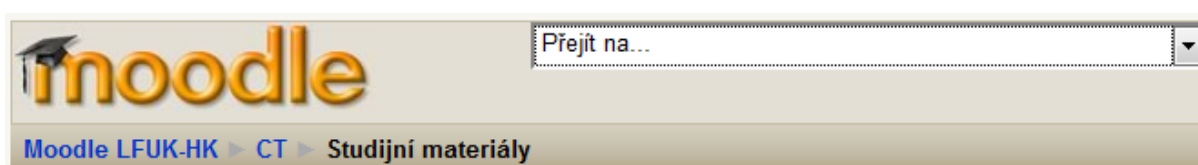
Některé kurzy umožňují vstup pro hosty

Zapomněli jste své uživatelské jméno či heslo?

Obrázek 2: Přihlašovací dialog Moodle

Autorizace probíhá na základě uživatelského jména, hesla a případně klíče. Vaše uživatelské jméno, heslo a klíč Vám sdělí učitel případně správce systému. Kurz může být zpřístupněn i pro tzv. "hosty". Jedná se o neautorizovaný přístup. Hosté mají omezené možnosti práce v kurzu. Nemohou například přidávat příspěvky do diskusních fór atd.

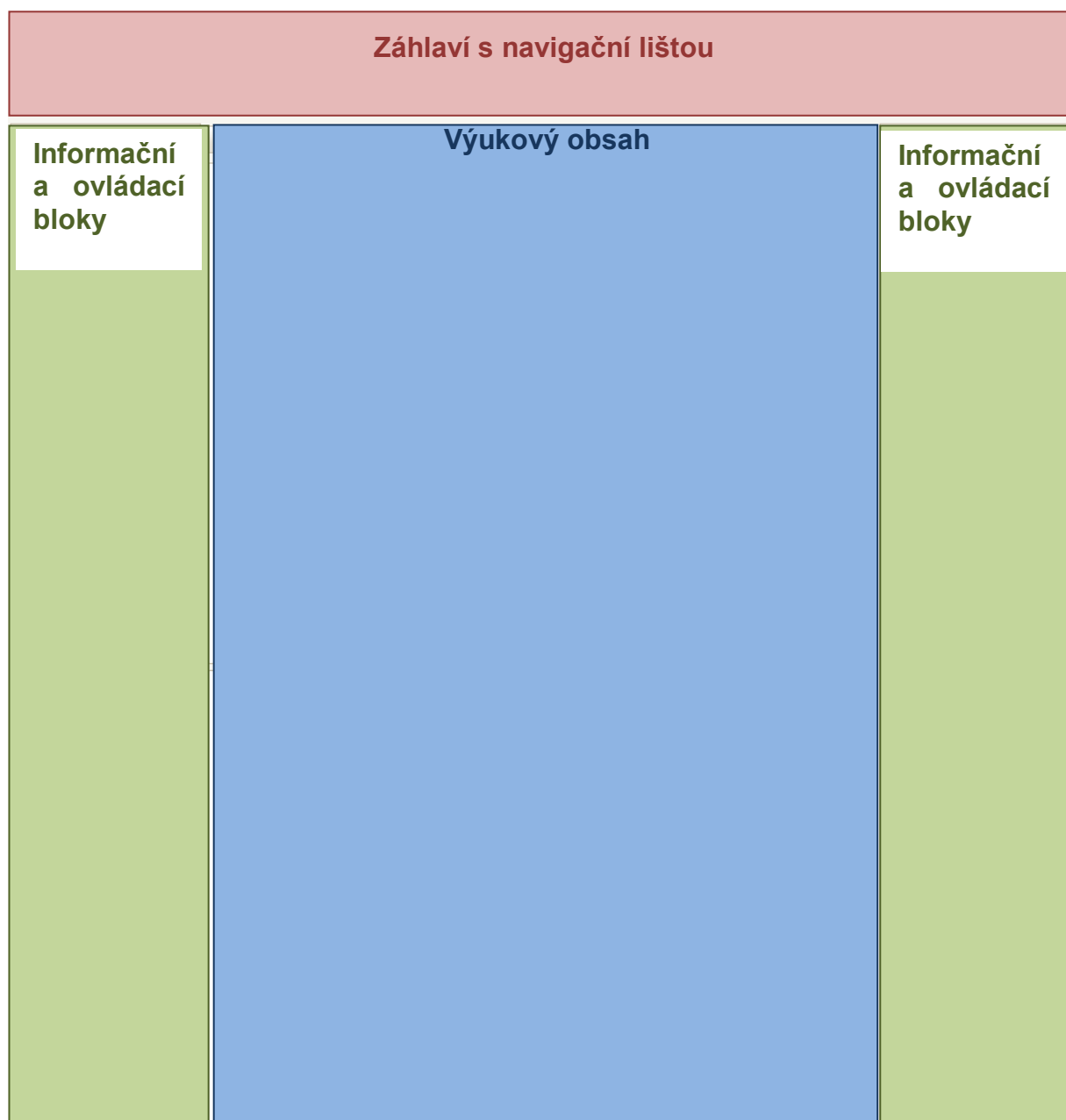
Jedna z velice příjemných funkcí Moodle, která zpočátku velmi pomáhá v orientaci je jeho téměř všudypřítomná nápověda, která se zobrazí po kliknutí na ikonu ?.



Obrázek 3: Záhlaví Moodle s navigační řádkou

Samotná orientace v kurzu pak nejsnadněji probíhá pomocí navigační řádky v záhlaví. Vše je intuitivní a možnost návratu na domovskou stránku kurzu je stále k dispozici.

5.1.1 Uvnitř kurzu



Obrázek 4: Uvnitř kurzu

Obrazovka vlastního kurzu je rozdělena do tří částí. Pod záhlavím s navigační lištou se nachází dva postranní oddíly s informačními, navigačními a ovládacími bloky. Typ a rozmístění bloků záleží na vůli tvůrce kurzu či administrátora. Mezi standardními bloky v levé části lze většinou nalézt seznam činností dostupných v kurzu, dále seznam účastníků kurzu a blok s funkcemi správy účtu účastníka. Další zajímavé bloky jsou pak blok nadcházejících událostí, připojených uživatelů, či nedávné

činnosti v kurzu. Prostřední oddíl je vyhrazen vlastnímu výukovému obsahu a zobrazuje jednotlivé sekce kurzu s dostupnými materiály a činnostmi.

5.1.2 Role v Moodlu

Uživatelé jsou v systému rozděleni do skupin na základě práv přístupu k jednotlivým funkcím a službám. Tyto skupiny nazýváme v Moodlu rolemi.

- Host - hosté mají minimální práva a obvykle nemohou nikam vkládat texty
- Student – je základní role, umožňuje procházet kurzy, plnit v nich úkoly, přispívat do diskusních fór a chatů
- Učitel – jedná se o člověka, který vede, řídí a vytváří výuku v kurzu, připravuje studijní materiály a organizuje další činnosti v kurzu
- Učitel bez práva upravovat – může v kurzech učit, ale nemůže upravovat jejich strukturu
- Tvůrce kurzů – může vytvářet nové kurzy a vyučovat v nich
- Správce – má kompletní kontrolu nad systémem

5.1.3 Moduly kurzu

Prostředí Moodlu nabízí učitelům jednotlivé výukové prvky, ze kterých tvoří kurz. Nejdůležitější základní moduly jsou dostupné. Pro Moodle je dostupné značné množství různorodých modulů prostřednictvím pluginů dostupných na domovské stránce systému.

Moduly jsou obecně děleny do dvou skupin:

- Studijní materiály – většinou v nějaké formě prezentují text, případně odkazují na soubor či web, jako studijní materiál lze použít i materiál formátu IMS CP
- Činnosti – jsou interaktivní moduly, které ve valné většině aktivně zapojují studenta a mohou ho hodnotit, jako činnost lze použít i balíčky AICC a SCORM

Základní a oblíbené často používané moduly jsou následující (9):

Dotazník

S tímto modulem můžete vytvářet dotazníky pro vaše studenty.

Fóra

Tato činnost může být tou nejdůležitější – právě zde totiž nejčastěji probíhá diskuse mezi účastníky kurzu. Fóra mohou být uspořádána několika různými způsoby a mohou zahrnovat hodnocení příspěvků ostatními účastníky kurzu či učitelem. Příspěvky lze prohlížet v několika formátech a je možné k nim připojit přílohu. Účastníci kurzu mají možnost přihlásit se k odběru příspěvků, kopie každého vloženého příspěvku jim v tom případě bude zasílána e-mailem. Učitel má možnost vnutit odebírání příspěvků všem účastníkům.

Chatování

Modul Chat umožňuje účastníkům kurzu vést prostřednictvím internetu synchronní diskusi v reálném čase. To je užitečný způsob, jak získat jiný pohled na sebe navzájem i na téma, o kterém se diskutuje. Chatovací místnosti nabízejí zcela jiný typ komunikace než asynchronní diskuse ve fórech. Modul Chat také obsahuje řadu nástrojů pro řízení chatování a pro prohlížení minulých diskusí.

Knihy

Kniha je jednoduchý vícestránkový studijní materiál.

Přednášky

Přednáška představuje zajímavý a interaktivní režim výuky. Sestává z libovolného počtu samostatných stránek. Každá stránka je obvykle zakončena otázkou a nabídkou několika variant odpovědi. Podle své odpovědi student buď postupuje k další stránce, nebo se vrací ke stránce předcházející. Průchod přednáškou může být lineární nebo libovolně větvený v závislosti na povaze prezentovaného materiálu.

Slovníky

Tato činnost umožňuje účastníkům kurzu vytvářet a průběžně spravovat seznam definic, podobně jako ve slovníku. Hesla lze vyhledávat a zobrazovat v mnoha různých formátech. Slovník také umožňuje učitelům přenášet hesla z jednoho slovníku do druhého (hlavního) v rámci jednoho kurzu. Slovník navíc nabízí funkci, která automaticky vytvoří odkaz na slovníkové heslo, pokud se příslušný termín objeví v kterémkoliv textu celého kurzu.

Studijní materiály

Studijní materiály jsou jádrem kurzu: jsou to zdroje informací, které chcete do kurzu zařadit. Mohou to být předem připravené soubory, které přenesete na server, stránky připravované přímo v Moodle, nebo externí internetové stránky, které včleníte do svého kurzu.

Testy

Tento modul umožňuje učiteli vytvářet a zadávat testy, skládající se z úloh typu výběr z několika možností, pravda/nepravda, tvořená odpověď, krátká tvořená odpověď, přiřazování, numerická úloha a doplňovací úloha (cloze). Úlohy jsou uchovávány v utříděné databázi a mohou být použity opakovaně, jak v rámci jednoho, tak i v rámci několika různých kurzů. U testu lze povolit více pokusů. Každý pokus je automaticky ohodnocen a učitel si může vybrat, zda k jednotlivým úlohám poskytne studentům komentář, nebo zobrazí správnou odpověď. Modul obsahuje také nástroje pro známkování.

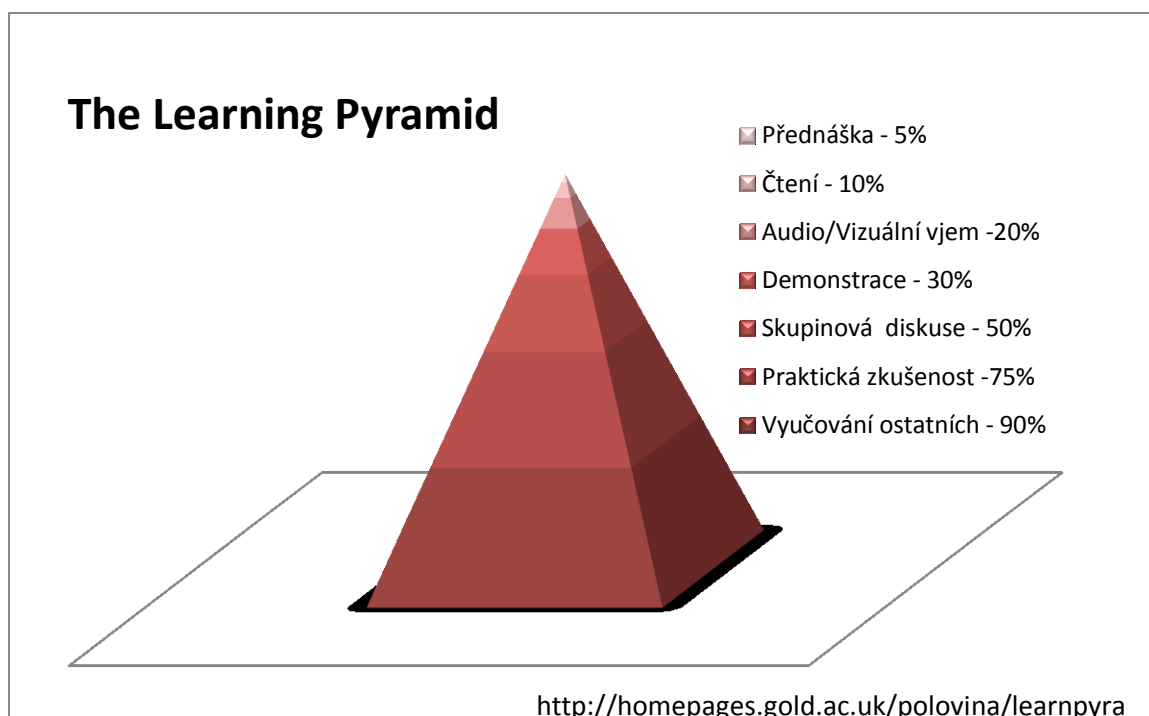
Úkoly

Úkoly umožňují učiteli zadávat úlohy, jejichž splnění vyžaduje, aby student vytvořil digitální obsah (v libovolném formátu) a uložil ho na server. Typickými úkoly jsou eseje, projekty, referáty atd. Modul obsahuje také nástroje pro hodnocení.

5.2 Moodle z pohledu tvůrce kurzu

Systém Moodle je tvořen v duchu sociálního konstruktivismu, což je moderní pedagogický směr, který vychází z předpokladu, že nejlepší způsob osvojení nových poznatků je na základě vzájemné interakce.

Na počátku šedesátých let byla NTL Institutem pro aplikovanou psychologii a sociologii vytvořeno schéma efektivit uchování znalostí obecně známé jako „The Learning Pyramid“ – pyramida učení (10; 11). Z obrázku je zřejmé, že nejvíce znalostí si student udrží v případě, že je sám předává dál. Jinými slovy lze říct, že lidé si nejlépe své znalosti vytvářejí aktivně prací s informacemi a předkládanými zkušenostmi v interakci se svým okolím.



Obrázek 5: The Learning Pyramid

Konstruktivismus je tedy v opozici proti pojetí výuky, kdy jsou studenti odsunuti do pasivní role příjemců. Ke konstruktivistickému přístupu patří aktivní zamýšlení se nad problémem a jeho řešení (learning by doing), které vede ke zvyšování vlastní motivace k učení, a dále i spolupráce s okolím v hledání souvislostí mezi informacemi a poznatky. Rozdíl mezi klasickou výukou a konstruktivistickým pojetím je rozdíl mezi přednáškou a diskusí.

5.2.1 Filozofie tvorby kurzů

Tvoření kurzů v Moodle nevyžaduje využití konstruktivistického přístupu, ale prostředí Moodle je v duchu konstruktivismu navrženo a bylo by škoda této vlastnosti nevyužít.

Poněkud konkrétněji: Moodle umožňuje do kurzu včlenit různé typy statických kurzových materiálů jako klasické PDF soubory, HTML stránky, odkazy na jiné weby, či zpřístupnění datového úložiště kurzu, které může obsahovat např. obrázkovou dokumentaci. Všechny tyto materiály, byť by byly perfektně zpracované, student pouze čte a nevyžadují od něj žádnou větší interakci.

Krom statických materiálů lze do kurzu v Moodle přidat i materiály interaktivní, ve kterých je student vybízen k vlastní aktivitě. Jde např. o odpovídání na otázky (přednášky, testy), vkládání textu (slovníky, dotazníky), či nahrání souboru (úkoly).

Interakce studenta s kurzem je však pouze základním stupněm. Mezilidská interakce dává zároveň prostor ke spolupráci, která může být zdrojem lepšího pochopení problému a bývá rovněž motorem motivace k dalšímu studiu. V tomto ohledu je možno do kurzu přidat aktivity, kde studenti interagují sami se sebou či s učitelem, mezi které lze zařadit různá diskusní fóra či chat.

Za další rozšíření interakce lze pak považovat aktivity, kdy se student dostává rovněž do role hodnotitele. Tyto aktivity tedy umožňují hodnocení a zpětnou vazbu nejen od učitele, ale i od spolustudentů. Z tohoto pohledu jde především o kolaborativní tvorbu wiki a workshopy.

Jeví-li se tyto možnosti interakce nedostatečné a limitující, tak v případě zájmu je díky velkému množství dostupných pluginů možno systém rozšířit o další specifické aktivity s prvky interaktivity.

Vzhledem k tomu, že filozofie Moodle je založena na interakci a objevování, nemá Moodle mnoho prostředků, které by studenta prováděly kurzem v daném pořadí. Například v základní verzi Moodle budete jen těžko hledat funkci, která by aktivitu B zpřístupnila až po dokončení aktivity A. Jinými slovy průchod kurzy v Moodle je velmi často z podstaty věci nelineární. Pokud je tedy z nějakého důvodu třeba, aby student např. dokončil nejdříve téma 1, než začne pracovat na tématu 2, je nutné studenta ručně včlenit do skupiny, která má možnost pracovat pouze s obsahem tématu 1. S rostoucí popularitou Moodle se však množí požadavky na funkcionalitu, která automaticky vynutí lineární průchod kurzem. Ve vývoji jsou tak moduly, které umožňují zamknout či odemknout následující aktivity na základě výkonu studenta v předchozích aktivitách (11; 12).

5.2.2 Struktura kurzu, jeho tvorba

Nositelem výukového obsahu v Moodle je kurz. Uživatelé nejsou přímo vázáni k nějakému kurzu, ale mohou se libovolně zapisovat do kurzů dostupných v systému. Zápis do jednotlivých kurzů může být omezen klíčem (= vstupní heslo) a/nebo

časem. Délka pobytu uživatele v kurzu může či nemusí být omezena. V rámci zvýšení přehlednosti je možnost jednotlivé kurzy v systému řadit do stromu kategorií.

Kurzy mohou mít různé uspořádání (13):

- Týdenní uspořádání

Kurz je uspořádán po týdnech jdoucích za sebou, s uvedením data začátku a konce týdne. Každý týden sestává z činností. Některé z těchto činností, například "úkoly", mohou mít určenu lhůtu, po jejímž uplynutí se stanou nepřístupnými.

- Tematické uspořádání

Je velmi podobné týdennímu uspořádání, pouze se sekci kurzu neříká "týden", nýbrž "téma". Témata nejsou vázána žádným časovým limitem. Není tedy třeba zadávat data.

- Diskusní uspořádání

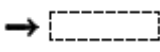


Toto uspořádání má jedno hlavní diskusní fórum – "Společné fórum", které se objevuje na hlavní stránce. Je vhodné pro volnější kurzy bez pevné organizace. Dokonce se nemusí jednat ani o kurzy, diskusní uspořádání může být například použito jako třídní či školní nástěnka.



Jednotlivé části kurzu lze vyplnit všemi aktivitami, které jsou v Moodle dostupné. Tyto aktivity lze dle potřeb učitele skrýt a odkrýt je až ve vhodný čas.


Moodle bohužel nedisponuje vlastním authoringovým nástrojem pro off-line tvorbu kurzů a kurzy je tedy nutno tvořit on-line. Výhoda tohoto přístupu je, že tvůrci stačí v podstatě jakýkoliv počítač s internetovým prohlížečem a funkčním internetovým připojením. Nevýhodou je však nutnost neustálého připojení k Internetu. Tato nevýhoda je však pouze relativní, jelikož pro tvorbu kurzu lze užít lokální instalaci Moodle a následně kurz exportovat na produkční server.

Pohled učitele na kurz při tvorbě se příliš neliší od pohledu studenta. Kurz je tvořen v tzv. režimu úprav, jsou zde navíc akorát dostupné ovládací prvky pro úpravu kurzu. Následující tabulka popisuje základní funkce užívané při tvorbě struktury kurzu, zobrazuje jejich systémové ikony a vykládá význam:

Tabulka 2: Ovládací prvky režimu úprav

Ikona	Význam	Ikona	Význam	Ikona	Význam	Ikona	Význam
	Upravit		Zavřít/Skrýt		Smazat/Odstranit		Přesunout (dolů/nahoru)
	Zobrazit všechny týdny/všechna témata		Otevřít/Ukázat		Odsadit zleva		Přesunout sem
	Zobrazit jeden týden/jedno téma		Označit týden/téma jako aktuální		Zmenšit odsazení		Nápověda

* Ikona  označuje položku, která je viditelná, kliknutím na ikonu se položka před studenty skryje; opačná logika platí pro ikonu .

* Kliknutím na ikonu  se (po potvrzení) trvale odstraňují materiály a činnosti, v případě bloků dojde pouze k jejich zrušení (lze je kdykoliv později obnovit).

5.2.2.1 Využití skupin a seskupení

Při větším počtu účastníků v kurzu Moodle umožňuje jejich dělení do **skupin** (14). Nejde o členění administrativní, ale o členění pro účely výukových činností. Skupiny zde fungují jako jakýsi filtr – když učitel např. na stránce pro hodnocení úkolů vybere k zobrazení jen jednu skupinu, vypíší se na stránku pouze úkoly odevzdané studenty aktuálně vybrané skupiny. Skupiny tedy lze výhodně použít mj. při více skupinách s několika vyučujícími (každý vyučující se při práci v kurzu může snadno věnovat pouze své skupině) nebo kdykoliv jindy, kdy lze účastníky kurzu rozdělit do skupin podle jasného kritéria (např. podle školní třídy, studijního kruhu, běhu kurzu apod.). Moodle umožňuje do skupin rozdělit nejen studenty, ale v případě potřeby i vyučující. Skupiny je třeba definovat na úrovni každého kurzu.

Moodle rozlišuje tři typy skupinového režimu:

- žádné skupiny

v tomto režimu jsou všichni účastníci kurzu členy jediné velké skupiny

- oddělené skupiny

každá skupina vidí pouze svoji vlastní skupinu, ostatní skupiny jsou pro ni neviditelné

- viditelné skupiny

členové každé skupiny pracují v rámci vlastní skupiny, ale vidí i skupiny ostatní

Režim skupin může být definován na dvou úrovních:

Na úrovni celého kurzu - režim skupin definovaný v nastavení kurzu je výchozím režimem při zakládání nové činnosti v kurzu (na úrovni činnosti jej lze změnit).

Na úrovni jednotlivých činností - každá činnost s podporou skupin může mít nastaven svůj skupinový režim. Toto nastavení však není k dispozici tehdy, je-li v nastavení kurzu zapnuta volba "Vnutit režim skupin". V takovém případě mají všechny činnosti takový režim, který je nastaven na úrovni kurzu.

Uživatele lze do skupin přiřadit několika způsoby. V případě již běžícího kurzu lze tak učinit ručně z bloku Správa pod volbou Skupiny. Daleko elegantnější řešení je ovšem automatické zařazení do skupiny na základě klíče k zápisu, kdy se každé skupině účastníků kurzu sdělí klíč k zápisu do „jejich“ skupiny a studenti jsou automaticky při zápisu do kurzu zařazeni do skupiny dle použitého klíče.

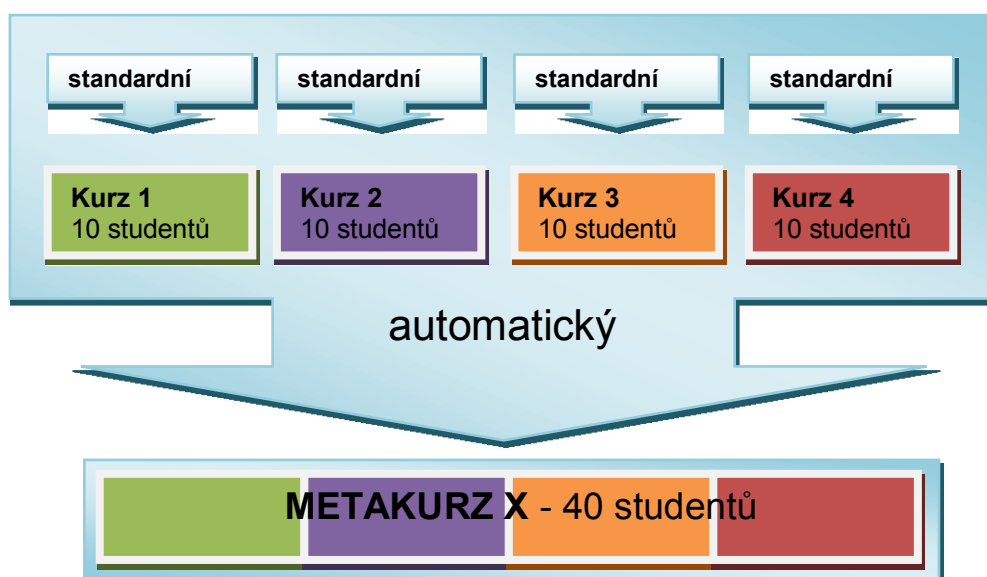
Z historických důvodů nelze skupinami omezit viditelnost/přístupnost činnosti nebo studijního materiálu. Od verze Moodlu 1.9 mohou být ovšem skupiny zařazovány do **seskupení** (15). Seskupením mohou být následně přiřazovány studijní materiály nebo činnosti. Takto nastavené materiály nebo činnosti pak budou zobrazeny pouze uživatelům patřícím do skupin z vybraného seskupení. Seskupení jsou ve výchozím nastavení serveru vypnuta a v případě potřeby musí být nejdříve aktivována správcem, teprve po té se na stránce pro nastavení skupin objeví záložka seskupení.

5.2.2.2 Metakurzy

Zvláštním typem kurzu je tzv. Metakurz. Do metakurzu jsou zapsáni všichni účastníci, kteří jsou zapsáni v asociovaných kurzech a naopak pokud se student запиše do nějakého kurzu, je automaticky zapsán do všech asociovaných metakurzů.

V obecném pohledu lze rozlišit 2 případy využití metakurzů (16):

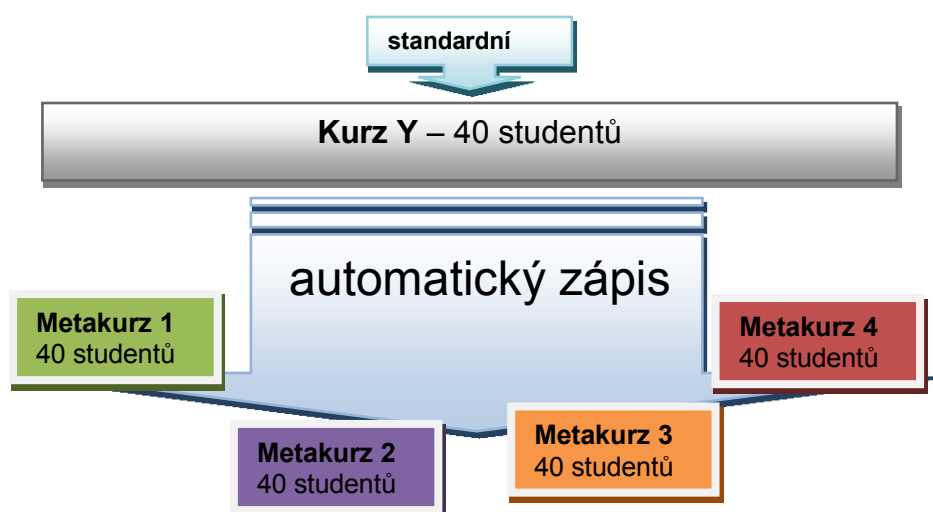
Případem 1. je automatický zápis z několika kurzů, které mají jeden společný metakurz.



Obrázek 6: Využití metakurzu - případ 1

Tímto způsobem lze metakurz využít třeba pro povinnou společnou část výuky, zatímco asociované kurzy představují povinně volitelné varianty. Další možností je pak využít ha jako repositář aktivit, které jsou společné pro několik kurzů. Moodle ve verzi 1.9 nepodporuje odkazování na instance modulů napříč kurzy.

Případem 2. je automatický zápis z kurzu do více asociovaných metakurzů.



Obrázek 7: Využití metakurzu - případ 2

Takto lze skupinu studentů zapsaných v jednom kurzu zapsat i do dalších kurzů, které mají absolvovat.

5.2.3 Hodnocení aktivit v kurzu

Známky lze v Moodle přidělovat u mnoha činností, jako např. u úkolů, fór či testů. Známky mohou mít podobu číselné hodnoty nebo slov/slovních spojení sestavených do škály. Známky lze sdružovat do kategorií, mnoha různými způsoby vypočítávat, sumarizovat a zobrazovat, stejně jako importovat a exportovat. Známky je také možno použít pro správu a hodnocení očekávaných výstupů kurzu nebo pro uchovávání textových poznámek k jednotlivým účastníkům kurzu. Oficiální dokumentace Moodle obsahuje návod, jak nastavit systém na běžně používanou pětistupňovou českou klasifikaci.

Od verze 1.9 má Moodle dvě základní východiska známkování (17).

- Jednotlivé **známky** (angl. grades) jsou výsledky v činnostech připisované účastníkům kurzů v Moodle.
- **Klasifikace** (angl. gradebook) je skladištěm udělených známek. Moduly činností jí dodávají jednotlivé známky studentů. Klasifikace s dodanými známkami pracuje, ale nijak do nich přímo v modulech činností nezasahuje.

Klasifikace poskytuje správcům a učitelům nástroje pro nastavení způsobu, jakým se známky vypočítávají, sumarizují a zobrazují, stejně jako možnost ručně je měnit (ruční změna známku v Klasifikaci automaticky uzamkne, tak aby ji zdrojový modul činnosti nemohl až do odemknutí aktualizovat).

Základními stavebními kameny Klasifikace jsou následující prvky:

- **známka** (viz výše) – má k dispozici volby ovlivňující, jak bude uživateli zobrazena
- **položka hodnocení** – uchovává známku za jednotlivou činnost pro každého účastníka kurzu, má k dispozici volby ovlivňující tyto známky;
- **kategorie známek** – seskupuje položky hodnocení, má k dispozici volby ovlivňující tyto položky;

Klasifikace rovněž nabízí řadu různých přehledů:

- **celkový přehled** – je hlavní pohled učitele na klasifikaci, soustřeďuje položky hodnocení, které byly vytvořeny v hodnocených částech Moodle, a

umožňuje jejich prohlížení, úpravy, řazení do kategorií a variabilní výpočet souhrnných známek

- **přehled očekávaných výstupů** – různým činnostem lze přiřadit jeden či více očekávaných výstupů a každý z nich může být hodnocen známkou (nejčastěji ze škály)
- **výsledné známky ze všech kurzů** – obsahuje známky ze všech kurzů, do nichž je student zapsán a celkovou známku za každý kurz
- **známky uživatele** – obsahuje známky přihlášeného uživatele v aktuálním kurzu

6 ADAPTIVITA V E-LEARNINGU

Důvodem k snahám začleňovat adaptivní prvky do e-learningu je zvýšení efektivity a kvality podávaných informací. Jinými slovy lze říct, každý student zpracuje a porozumí podanou informaci jinak. Z praxe víme, že nejefektivnějším typem výuky je přístup jeden na jednoho, kdy učitel přizpůsobuje výklad dané látky potřebám studenta na základě jeho reakcí. Takto individuální přístup však ve většině případů není reálný. K tomu, abychom dosáhli pokud možno stejné úrovně porozumění u skupiny různých studentů, je nutné předkládanou informaci adaptovat možnostem a schopnostem každého studenta a zde se jsou otevřeny dveře e-learningu, kdy s pomocí dnešních technologií se může výukový materiál adaptovat při interakci se studentem.

Pokud při bližším pohledu na problematiku hledáme situace, kdy by se informace měla adaptovat, dojdeme s největší pravděpodobností k následujícím závěrům (18; 19):

- informace by se měla adaptovat, pokud ji student již zná
- informace by se měla adaptovat na studentovy schopnosti
- informace by se měla adaptovat na preferovaný styl učení
- informace by se měla adaptovat podle studentových výkonů během kurzu
- informace by se měla adaptovat podle studentových zájmů
- informace by se měla adaptovat podle studentovy motivace
- informace by se měla adaptovat na studentovy osobní okolnosti

Většina dnešních systémů pro řízení výuky je poměrně adaptabilních, tedy nastavitelných, dle preferencí jednotlivých uživatelů, co se týče vzhledu a ovládání o adaptivitě však nemůže být řeč. Adaptivita – tedy automatické přizpůsobení potřebám uživatele – je v současných LMS či CMS systémech věcí spíše okrajovou. Pokud se vyskytuje, tak ne ve smyslu adaptivního předkládání informací, ale spíše ve smyslu adaptivního uživatelského rozhraní, jehož cílem je zamaskování rozhraní tak, aby vlastní rozhraní systému nebylo nežádoucí bariérou při výuce a uživatel se mohl plně věnovat výukovému obsahu.

Problém zde snad není ani ve vlastních systémech pro řízení výuky, protože souběžně s LMS či CMS jako je např. již rozebíraný Moodle, jsou v současnosti

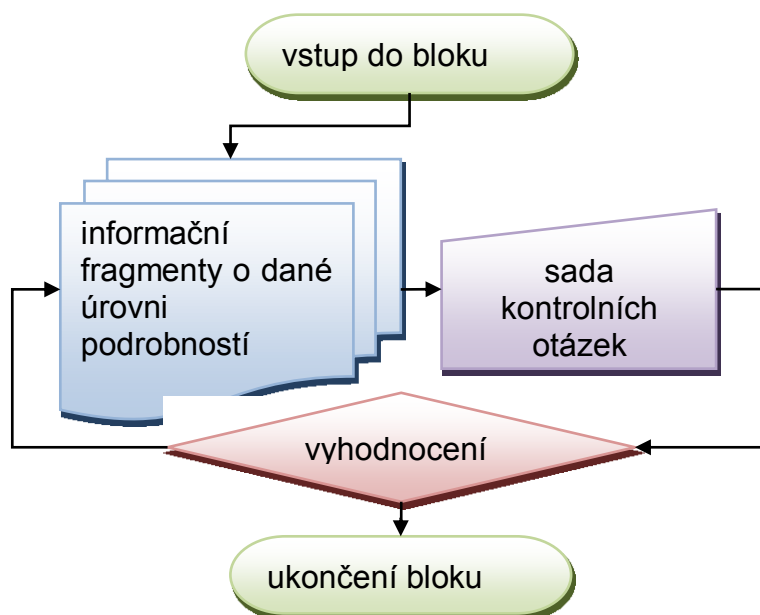
dostupné i AHS – systémy adaptivních hypermedií jako AHA! (Adaptive Hypermedia for All) či ALEA (Adaptive LEarning) (20). Problém je ve vlastním předkládaném výukovém materiálu. Aby byl schopen systém informaci adaptovat, musí jí rozumět. Informace tedy musí být popsána metadaty srozumitelnými pro systém. Dnešní systémy pro řízení výuky jsou tvořeny ve valné většině pro klasické materiály (buď v elektronické podobě), které žádná metadata neobsahují. Dalším úskalím adaptivního systému je, že uživatel nemůže být pro systém anonymní. Systém musí uživatele „poznat“ – udržovat si jeho poměrně detailní profil, na jehož základě vytvoří patřičný uživatelský model, aby se mohl dobře adaptovat na jeho potřeby.

Vzhledem k tomu, že jakýkoli systém je dnes ještě dalek toho, aby byl schopen rozumět běžně napsanému textu do té míry, že by ho dokázal smysluplně modifikovat, je tvorba adaptivního materiálu čistě na jeho tvůrci a to je také důvodem jejich nízkého rozšíření. Základním problémem zde je, že filozofie tvorby adaptivního materiálu je podstatně odlišná od tvorby materiálu klasického. Adaptivní materiál se většinou skládá z informačních fragmentů s přesně popsány vazbami na jiné informační fragmenty. Vytvořit takto komplexní výukový materiál je podstatně obtížnější a delší než tvorba materiálu klasického. Dále je zde potenciální možnost zneužití osobních poměrně intimních dat uložených v uživatelském profilu a nemožnost využití systému anonymním uživatelem.

6.1 MSL koncept výuky - mnohastupňový e-learning

Koncept mnohastupňového e-learningu vyvinutý naším pracovištěm je reakcí na potřebu individualizace výuky při příliš velkém rozptylu vstupních znalostí studentů v kurzu. Klasické metody počátečních rozřazovacích testů nejsou totiž vždy nejlepším řešením, protože mohou být časově i organizačně náročné a nejsou vhodné pro skupiny s příliš nízkým počtem studentů. MSL koncept umožňuje zahrnout rozřazení přímo do vlastního vzdělávacího procesu. Nejedná se v pravém slova smyslu o koncept adaptivního e-learningu, protože zde chybí systémem udržovaný model uživatele, který by shromažďoval a analyzoval data na základě jeho akcí, ale jde spíše o e-learningový koncept s adaptivními rysy. Jeho výhody jsou, že jde realizovat v různých LMS bez nutnosti speciálního software a může být v omezené míře použit i anonymním uživatelem.

Základní myšlenka je jednoduchá (21) - vytvořit interaktivní přednášku, která bude reagovat na stupeň znalostí studenta. Studentovi, který vstoupí do kurzu, je



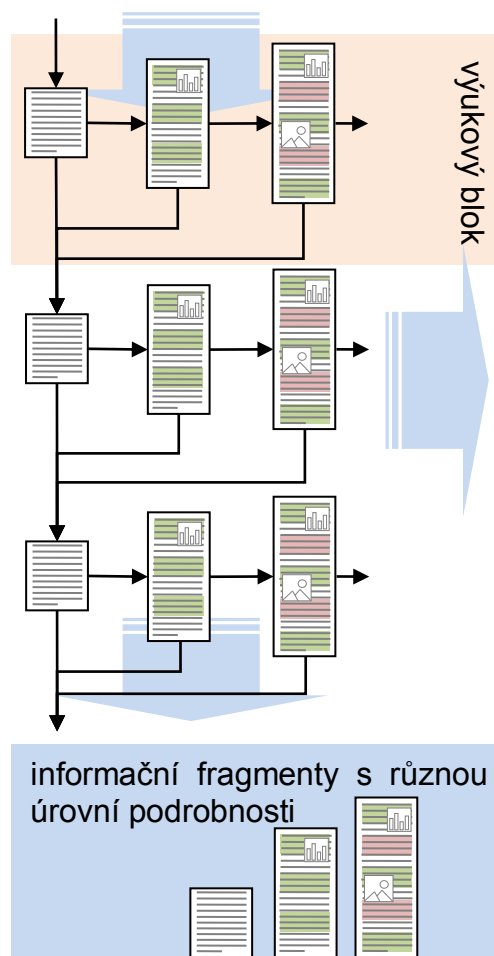
předložen fragment z bloku látky, který obsahuje poměrně hutnou souhrnnou informaci. Pokud se mu podaří tuto informaci vstřebat a správně odpovědět na kontrolní otázky, průchod fragmentem je úspěšný a může postoupit k dalšímu bloku.

Obrázek 8: MSL koncept - základní schéma

V případě, že ne, nabízí systém další fragmenty daného bloku s podrobnějšími výklady téže problematiky. Pokud ani po projití fragmentu s nejpodrobnějším výkladem student neuspěje, je mu doporučena konzultace učitele. Z výše popsaného je rovněž zřejmé, že při dostatečné předchozí znalosti látky může student ušetřit nezanedbatelné množství času.

Původně se koncept skládal ze tří úrovní podrobností, a proto také bylo jeho původní jméno 3SL koncept (22). Po čase však praxe ukázala, že ne vždy je vhodné materiál striktně členit pouze do tří úrovní. Jsou případy, kdy je použití třech úrovní podrobností příliš mnoho a výsledný

Schéma

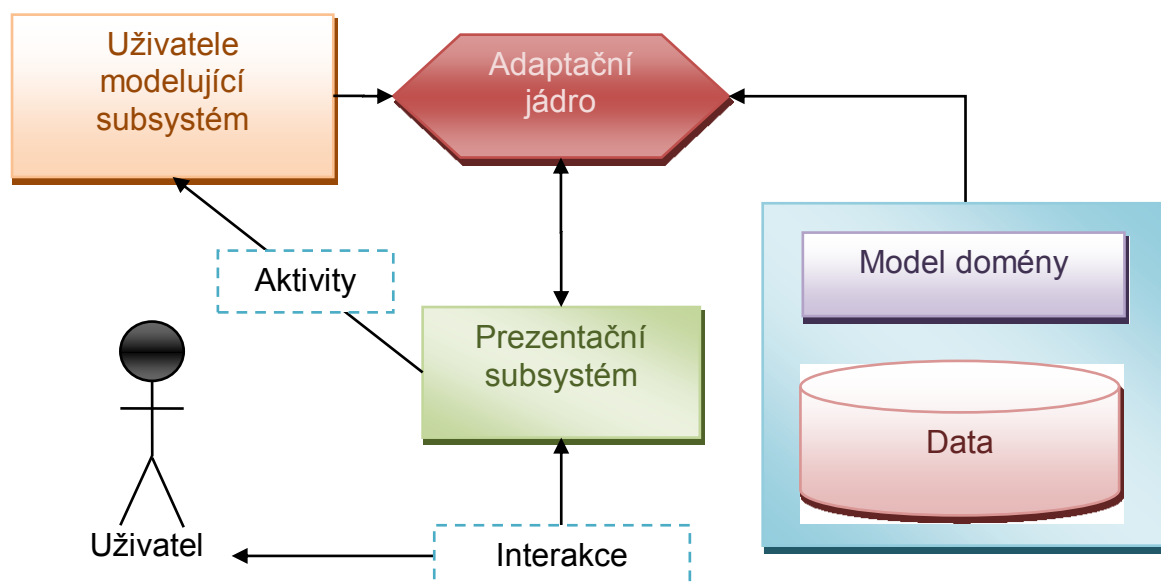


Obrázek 9: Průchod MSL kurzem

materiál působí zmateným a zavádějícím dojmem. Jindy je na druhou stranu vhodné dodat nějakou extra informaci, která není vhodná pro všechny, ale jisté skupině studentů pomůže lépe pochopit problematiku na základě propojení s jiným oborem, nebo prostě jde o problematiku tak komplexní, že tři úrovně podrobností nestačí, a proto byl koncept modifikován do dnešní podoby.

6.2 Skutečně adaptivní hypermediální systémy

Moderní adaptivní systémy používané ve výuce se dají na konceptuální úrovni rozložit do následujících funkčně provázaných samostatných modulů (viz obrázek) (19; 23; 24).



Obrázek 10: Koncepte adaptivních hypermediálních systémů

- **Data** představuje knihovna informací, které mohou být prezentovány uživateli. Typicky jde o množství vzájemně odkazovaných hypermediálních dokumentů. Z tohoto pohledu jde systémy dělit na 2 typy:
 - **Closed–corpus** systémy neboli systémy pracující nad relativně neměnnou zpravidla lokálně uloženou datovou základnou, která je většinou spravována přímo systémem. Data mohou být i strukturována (krom propojení hypertextovými odkazy) např. hierarchicky, což umožňuje simulovat klasickou knihu.

- **Open–corpus** systémy jsou schopné pracovat nad dynamicky se měnící datovou základnou (např. Internet). Možnosti zacházení s daty jsou zde daleko omezenější kvůli chybění či nevalidním metainformacím a struktuře. Často je nutno spolehnout se na automatické extrakční techniky z oblasti přirozeného jazyka.
- **Model domény** rozebírá problémovou doménu, tedy obor popisovaný daty, kterými je systém naplněn, do jednotlivých znalostních fragmentů a zachycuje vztahy mezi nimi. Prvotní AHS používaly model domény pouze ve formě výčtu znalostních fragmentů bez popisu interní struktury. U moderních AHS jsou součástí modelu sémantické vazby mezi fragmenty (je, je částí, popř. prerekvizita = nutnost znalosti pro další pochopení) a je tak vytvářena sémantická síť. V některých AHS je každý fragment krom jmenovky popisován i množinou dalších atributů.
- **Subsystem modelující uživatele** uchovává profily jednotlivých uživatelů a je tak základním kamenem individualizace. Pod profilem uživatele si lze představit množinu atributů co nejvýstižněji popisující daného uživatele a jeho vztah k modelu domény. Mnohdy je tento profil doplněn o informace vážící se k historii akcí uživatele v systému (počet návštěv, oblíbené stránky, strávený čas atp.) a v některých případech i o profil sociálních interakcí studenta s ostatními spolustudenty ve skupině (účast v diskusních fórech a chatech a její vliv na podaný výkon). Změny v modelu chování systému k uživateli jsou vyvolány většinou dvěma způsoby:
 - Přímým ručním vstupem - dotazníkem či testem, popř. zadáním parametrů
 - Na základě vyhodnocování historie interakcí uživatele se systémem. U moderních AHS právě tento způsob převládá díky trendu obtěžovat uživatele přímými vstupy co možná nejméně.

Zajímavou součástí některých AHS je vizualizace modelu uživatele na základě jeho profilu a tzv. sociální modelování, kdy kromě modelů jednotlivých uživatelů systém pracuje i s modely celých skupin, čímž získáme možnost porovnat jednotlivého uživatele s celou skupinou. Snadno je tak možné získat informace o tom, ve kterých oblastech student oproti svým kolegům zaostává a ve kterých má naopak navrch.

Podle jistých právních výkladů lze profily uživatelů považovat za specifický typ osobních informací a vztahují se proto na ně příslušné právní normy. Zejména by měl být uživateli umožněn přístup informacím, které o něm systém nashromáždil.

Modelování uživatelů je velmi komplexní problematika a právě subsystém modelující uživatele určuje možný rozsah a kvalitu adaptivního chování systému.

- **Adaptační jádro** je řídicí částí celého systému. Po obdržení požadavku zjistí na základě profilu uživatele a informace o požadovaných datech z modelu domény jakým způsobem nejlépe provést akci reagující na požadavek uživatele.
- **Prezentační subsystém** zajišťuje komunikaci celého systému s uživatelem a odděluje tak prezentační problémy od aplikační logiky. Transformuje požadavky uživatelů na volání interních funkcí a zajišťuje vhodnou prezentaci výsledných dat. Součástí reakce na požadavek bývá také odeslání příslušných informací do subsystému pro modelování uživatelů, kde jsou následně zpracovány do profilu uživatele.

7 EVALUACE E-LEARNINGU

Kvalita e-learningových materiálů a její hodnocení je poměrně komplexní otázkou. Z pohledu obecně uznávané normy pro kvalitu softwarových produktů (ISO 9126, 1991), mezi které lze e-learningové kurzy jistě zařadit, je kvalita vlastností, která je závislá na potřebách uživatelů, zamýšleném cíli, kontextu a ceně produktu. Obecně dnes panuje příklon k hodnocení kurzů v několika rovinách. Počet a šíře rovin, ve kterých je kurz hodnocen, se mezi jednotlivými autory hodnotících metodik různí (25; 26; 27; 28). Ve všech lze ale vystopovat tři základní kritéria:

- Technologická stránka řešení
- Vlastní vzdělávací obsah
- Možnosti kvalitní přiléhavé interakce (s učitelem, spolustudenty)

Pro vlastní hodnocení se v praxi používá několik metod:

- Metoda založená na posouzení přístupu uživatelů, kdy je vybrána skupina uživatelů kurzu, kteří verbalizují své myšlenkové pochody při interakci se systémem. Tento způsob umožní hodnotitelům přijít obzvláště na nedostatky v koncepci kurzu a jeho špatnou interpretaci studentem. Nevýhodou jsou jak časové, tak i finanční nároky této metody.
- Další metodou je heuristické zhodnocení menší skupinou expertů. Nevýhodou je obrovská závislost této metody na předchozích zkušenostech hodnotitelů. Pokud jsou ale předchozí zkušenosti hodnotitelů vysoké, je tato metoda považována za metodu s nejlepším poměrem přínos/náklady.
- Poslední metodou, kterou je dobré v tomto kontextu zmínit, je použití přesně definovaných hodnotících úloh, které v souhrnu poslouží pro systematické zhodnocení systému. Výhodou této metody je, že je méně nákladná než metoda založená na posouzení přístupu uživatelů a k dosažení dobrých výsledků nemusí být hodnotitel obzvláště zkušený.

7.1 Metodika eLSE, její modifikace pro naše potřeby

Při hledání vhodného způsobu evaluace pro naše e-learningové kurzy se nám zdálo nejvhodnější využít metodiky systémové evaluace e-learningu eLSE italských autorů Ardita et al. (27), která je založena na použití přesně definovaných hodnotících úloh. Implementace původní metodiky by však byla v našich podmínkách velmi náročná, a

proto jsme ji modifikovali (29), aby lépe odpovídala našim požadavkům a možnostem.

Původní metodika (30) se skládá ze dvou fází – přípravné a vlastní fáze provedení. Následuje popis v bodech

7.1.1 Přípravná fáze

- vytvoření osnovy vlastní evaluace
- definice pravidel pro vytvoření knihovny hodnotících úloh (AT)
- výstup může být snadno sdílen s jinými pracovišti a reprodukován

7.1.1.1 *Abstract Task - Hodnotící úloha*

definice: termín pro úlohu, kterou musí provést hodnotitel nezávisle na konkrétní aplikaci a proto tedy abstraktní

- AT klasifikační kód a jméno - jednoznačně identifikuje úlohu a její účel
- Posuzovaná část - část aplikace, která má být posouzena
- Záměr - objasňuje konkrétní cíle AT
- Popis úlohy - detailně popisuje postup, jak má být provedeno posouzení
- Výstup - schéma závěrečného zhodnocení posuzované části
- Poznámka - volitelně, použití vhodné kombinace ostatních AT

Hodnotící úlohy (AT) jsou definovány expertními hodnotiteli a obvykle se rozdělují do dvou tříd:

- porozumění obsahu (content learnability)
- kvalita zpracování (quality in use)

Příklad:

QU_01: Dostupnost komunikačních nástrojů

Posuzovaná část: komunikační nástroje

Záměr: ověřit dostupnost komunikačních nástrojů

Popis úlohy:

- rozpoznat nabízené komunikační nástroje
- komunikace s ostatními studenty a vyučujícím

Výstup: popis má obsahovat zda

- komunikační nástroje nepokrývají dostatečně všechny části aplikace
- není možné komunikovat dohromady s učitelem a studenty

QU_02: Grafický design

Posuzovaná část: grafická stránka systému

Záměr: posoudit přehlednost systému po grafické stránce

Popis úlohy: zhodnotit

- barvy
- použití blikajících či posuvných prvků
- písmo a velikost
- použití externích zdrojů, provázanost

Výstup: seznam obsahující následující vyjádření:

- přílišné použití barev
- příliš mnoho rozptylujících elementů (blikání, posuvné nápisy)
- písmo není jednoduše čitelné
- návaznost na externí zdroje je nepřehledná, zmatená

QU_27: Dostupnost a kvalita hodnotících nástrojů v kurzu

QU_35: Kvalita výsledků daných hodnotícími nástroji

AC_06: Organizace kurzu

AC_19: Dostupnost cvičení

AC_24: Organizace informací v kurzu

AC_28: Platnost zpětné vazby z hodnotících nástrojů

7.1.1.2 Fáze provedení

- probíhá pokaždé, když má být systém posouzen
- skládá se ze dvou částí: systematická inspekce a uživatelské testování

7.1.1.3 Systematická inspekce

Provádí hodnotitelé. V průběhu používá hodnotitel danou sadu hodnotících úloh. Jejím výstupem je definovaná zpráva obsahující objevené problémy, jak jsou zadány v jednotlivých hodnotících úlohách.

7.1.1.4 Uživatelské testování

Provádí se pouze tehdy, pokud je neshoda mezi hodnotiteli v některých zjištěních při inspekci a ověření skutečnými uživateli je nezbytné. Popis úlohy konkrétní AT je pak využit k definování příslušné úlohy pro uživatelský test. Tento popis již není obecný, ale vztahuje se přesně k aplikaci a místu, které má být posouzeno.

V průběhu uživatelského testování je pozorován vzorek uživatelů při práci na konkrétních úlohách a jsou sbírána data o jejich akcích, chybách a době nutné k provedení těchto úloh. V konečné fázi mohou být tato data dále analyzována.

Posledním krokem fáze provedení je poskytnutí strukturované zpětné vazby tvůrcům kurzu ve formě zprávy, jejíž obsah definovaným způsobem (terminologie AT) shrnuje nalezené problémy. Tento standardizovaný způsob vyjádření zvyšuje přesnost a snižuje riziko nedorozumění.

7.1.2 Modifikace provedené v původní metodice

- hodnotiteli jsou sami uživatelé
- výstupní zprávou hodnotitelů je zodpovězený definovaný dotazník
- odpovědím otázek jsou přiřazena kladná či záporná hodnotící kritéria
- evaluace proběhne prezenčně na konci hodiny- zajištění compliance studentů

7.1.2.1 Dotazník

Vytvořen v externím modulu Moodlu "Dotazníky" na základě hodnotících úloh (AT) buď naprosto obecně, nebo i relativně specificky pro daný kurz. Na základě každé AT je vytvořeno několik otázek, které mohou být 2 typů – hodnotící a přehledové. Daná AT je prezentována v záhlaví série otázek.

- hodnotící otázky - jsou otázky s jednou možnou odpovědí. Odpovědi otázky jsou tvořeny tak, že se o dané vlastnosti/otázce vyjadřují buď pozitivně - kvalitní e-learning či negativně - nekvalitní e-learning. Každé z možných odpovědí je přidělen jeden nebo žádný bod.
 - *Př.: Kurzem nabízené možnosti komunikace, jsou na základě Vaší zkušenosti: dostatečné (1 bod), nedostatečné (0 bodů)*
- přehledové otázky - jsou otázky s více možnými odpověďmi, či tvořenou odpovědí. Nejsou jim přiděleny body pro hodnocení e-learningu. Svým charakterem jsou to povětšinou otázky zjišťovací, které kvantifikují pohled uživatelů na daný problém.
 - *Př.: Z komunikačních nástrojů jste v kurzu používali následující: chat, diskusní fórum, wiki modul*

Organizace informací

Režim: Anonymní

(*)Otázky označené hvězdičkou je nutno vyplnit

Obsažené informace:*

Informace*

Možnosti prostředí (multimedia, odkazy...) jsou vzhledem k charakteru vykládané látky:*

Zásadní informace o porbírané látce dle vašeho názoru:*

☒ Nevybráno

☐ NEjsou v kurzu distribuovány rovnoměrně

☐ jsou v kurzu distribuovány rovnoměrně

☒ Nevybráno

☐ NEjsou snadno a logicky vyhledatelné v textu

☐ jsou snadno a logicky vyhledatelné v textu

☒ Nevybráno

☐ využity NEdostatečně

☐ využity dostatečně

☒ Nevybráno

☐ chybí

☐ NEchybí

Odevzdejte vaše odpovědi
Zrušit

Obrázek 11: Ukázka dotazníku v Moodle - AT Organizace informací

Krom otázek postavených na AT může obsahovat i specifické otázky důležité pro doplnění zpětné vazby.

Sestavený dotazník je možno uložit jako šablonu a znovu použít a lehce modifikovat pro různé kurzy.

7.1.2.2 Provedení evaluace

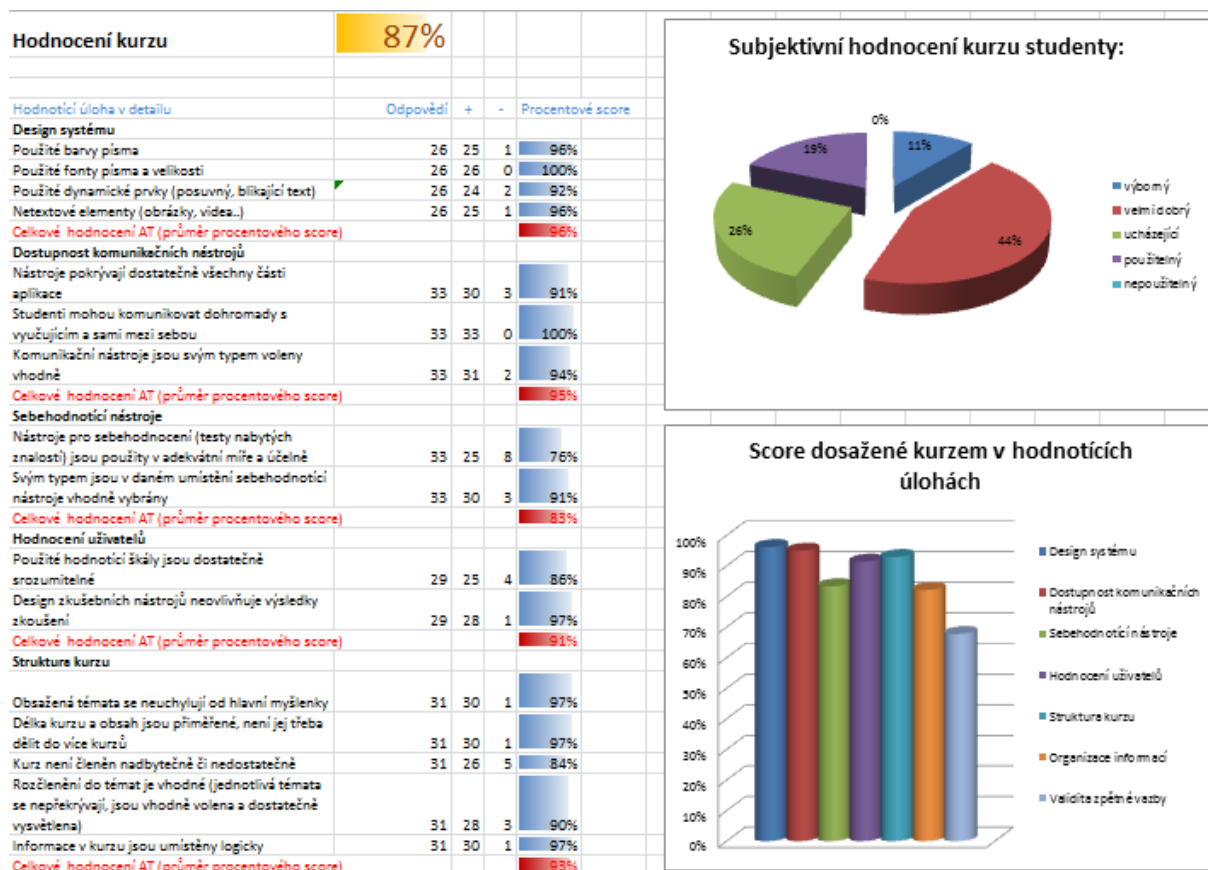
Provedení evaluace kloubí dohromady fázi systematické inspekce a uživatelského testování původní metodiky. Dotazník je studenty vyplněn prezenčně na konci tématu, ke kterému se daný kurz vztahuje. Odpadá tak nutnost mít speciální hodnotitele, hodnotiteli se stávají sami uživatelé. Jelikož Moodle standardně sbírá údaje o akcích uživatelů v systému, odpadá tak nutnost monitorování uživatelů při práci za pomoci třetí osoby.

7.1.2.3 Výstupy, hodnocení

Výsledné hodnocení kurzu je počítáno jako průměr celkového hodnocení jednotlivých AT a je vyjádřeno v procentech. Celkové hodnocení AT je počítáno jako průměr hodnocení jednotlivých otázek (parametrů) příslušné AT a je vyjádřeno v procentech. Hodnocení konkrétní otázky (parametru) příslušné AT je vyjádřeno jako procento počtu kladných odpovědí z celkového počtu odpovědí k dané otázce (parametru) příslušné AT. Důvodem pro toto na první pohled komplikovanější řešení je normalizace váhy jednotlivých otázek (parametrů) v rámci AT při rozdílném množství odpovědí na jednotlivé otázky (parametry) AT. Pro určení kvality kurzu byla arbitrárně stanovena hranice 60 %. To znamená, výsledné hodnocení kurzu musí být rovno nebo větší než 60 % z možných získatelných bodů.

Modul Dotazníky umožňuje export anonymních výsledků do souboru formátu MS Excel. V tomto programu je rovněž následně provedeno hodnocení a další statistické zpracování exportovaného souboru.

Východiskem pro statistické vyhodnocení odpovědí studentů je předpoklad, že pro otázku (parametr), která pro respondenta nemá žádný význam, bude poměr pozitivních a negativních reakcí 1:1. Jde tedy o porovnání získaných výsledků s teoretickým modelem $p_{\text{pozitivní reakce}} = p_{\text{negativní reakce}} = 0,5$. Pro řešení tohoto typu problému se zpravidla používá chí-kvadrát test dobré shody (31). Jako hladina významnosti je stanovena standardní hodnota 5 %.



Obrázek 12: Ukázka šablony pro zpracování dat v MS Excelu

8 E-LEARNINGOVÁ OPORA PRAKTICKÉ VÝUKY LÉKAŘSKÉ BIOFYZIKY – VYUŽITÍ MSL KONCEPTU

Biofyzika jako předmět je v prvním ročníku studia na lékařské fakultě mnohdy až na okraji zájmu studenta, krčí se v koutku za giganty, jako jsou anatomie či histologie. V současném pojetí medicíny však jde zcela jistě o předmět nezanedbatelný, vždyť většina moderních vyšetřovacích přístrojových metod je postavena právě na fyzikálních principech. Znalost a pochopení těchto principů pro jednotlivé metody dávají lékařům představu o hranicích jednotlivých metod a umožní tak přesnější indikace. Z pohledu pacienta jde jasně o benefit, protože se vyhne zbytečně indikovaným vyšetřením, která budou mít jen mizivý přínos. V dnešní složité době je však nutné připomenout i možné ekonomické úspory, pokud se omezí počet vyšetření, která mají jen minimální výtěžnost.

Praktická výuka na našem ústavu je směřována obzvláště do oblasti vyšetřovacích metod založených na fyzikálních principech. Pokud si má student z omezeného počtu hodin odnést co nejvíce, je třeba, aby na praktika přicházel s nějakou bazální znalostí problematiky. E-learningové systémy umožňují nejen observaci samostatné práce studenta, ale také individualizaci přístupu. Tím nám dávají do ruky nástroj, kterým lze ušetřit vyučujícím a především studentům čas, kterého obzvláště v prvním ročníku medicíny nemají nadbytek.

V našem případě využíváme tzv. blended learningu, tedy e-learningu cíleného na podporu a doplnění klasické prezenční výuky. Pro pilotní projekt jsme se rozhodli převést do MSL formy materiály pro tři témata naší praktické výuky, která se zabývají vyšetřovacími metodami užívanými v každodenní praxi většiny lékařských oborů. Jde o principy **výpočetní tomografie, vyšetření ultrazvukem a elektrokardiografického vyšetření** (kurz obsahuje i principy měření krevního tlaku, které jsou rovněž probírány na praktiku).

8.1 Pilotní projekt

8.1.1 Koncept kurzů

Z palety dostupných e-learningových systémů jsme pro naše kurzy zvolili LMS Moodle ve verzi 1.9.x. Důvodů, proč právě Moodle, je několik. Jde o systém, se

kterým jsou zkušenosti na jiných lékařských fakultách a má poměrně kvalitní podporu ve stále rostoucí česká komunitě. Je to také systém otevřený a v případě potřeby je možno dělat i úpravy ve zdrojovém kódu. V neposlední řadě je důvodem jeho užití i minimální finanční náročnost a fakt, že jde tento systém provozovat téměř na jakékoli platformě. V našem případě jde o:

- OS Windows server 2008 (původně 2003), běžící na virtuálním stroji
- Wamp 2.1 (původně Xampp) – open source projekt (GPL licence) obsahující webserver Apache, skriptovací jazyk PHP a databázový server MySQL

Chybějící adaptivní funkcionalitu systému Moodle, která by byla z našeho pohledu ideální pro individualizaci výuky, úspěšně supluje pro potřeby našich kurzů koncept mnohastupňového e-learningu (viz kapitolu o adaptivitě v e-learningu).

Při tvorbě kurzů se v mnohém inspirováme přístupem W. Rice. Z důvodu zjednodušení a lepší orientace jsme v duchu filozofie hlásající, že uživatel by krom vlastního obsahu neměl v kurzu zápolit ještě s ovládáním systému, zvolili u našich kurzů jednotnou strukturu pro všechna tři témata. Snažíme se o maximální deskriptivnost navigace a srozumitelnost. Standardně je kurz k jednomu praktiku rozdělen na tři podkapitoly v systému Moodle nazývané témata.

První podkapitola (téma) popisuje, jak se na praktika připravovat a seznamuje studenta s koncepcí materiálu. Vlastní materiál má pak dvě části - výukovou a opakovací. Část výuková je postavena na nativním přednáškovém modulu systému Moodle, který umožňuje vytvořit větvenou strukturu s průchodem na základě odpovědí na včleněné otázky. Tím je dosaženo zobrazení požadované úrovně v rámci mnohastupňového konceptu. Student do této přednášky může vstoupit a dokončit ji pouze jednou. Důvod pro toto omezení je krom organizačního také ten, že vyučující může v případě potřeby v záznamu o průběhu kurzem snadněji odhalit, která část dělala studentovi problém. Aby studentovi po dokončení přednášky nezůstaly informace z této části nepřístupné, je totožný materiál dostupný v podobě MSL hypertextu s možností skrytí či zobrazení různých úrovní podrobnosti, které je možné v textu pro přehlednost barevně odlišit. Za tímto účelem jsme vytvořili HTML šablonu na podkladě kaskádových stylů (CSS), kdy každá úroveň podrobnosti má přiřazenu svoji vlastní třídu v CSS. O skrývání a odkrývání jednotlivých znalostních fragmentů se stará java script na základě požadavků uživatele.

Nejobtížnější na celé přípravě materiálu je vhodné rozčlenění do jednotlivých úrovní znalostí a vytvoření jednotlivých informačních bloků tak, aby materiál dával v každé své úrovni smysl. Před vytvořením jednotlivých úrovní se nám osvědčilo připravit v bodech zevrubný popis míry detailů, které mají dané úrovně obsahovat, a teprve následně materiál rozdělit do obsahových bloků. Rovněž se osvědčilo rozvrstvení informací do jednotlivých bloků způsobem, kdy jeden základní blok by neměl být delší než jedna standardní zobrazovací oblast (zhruba obsah stránky velikosti A4). Kontrolní otázky po každém bloku by měly striktně vycházet z jeho obsahu tak, aby byl student schopen najít odpověď přímo v bloku a nemohl být frustrován skládáním odpovědí na podkladě vazeb, které nezná a musí dohledávat jinde. Cílem zde není zkoušení studenta a jeho známkování, ale poskytnutí studentovi zpětné vazby o tom, jak dobře je připraven, zda látce porozuměl správně.

Druhá podkapitola (téma) je zaměřeno na dovysvětlení probírané látky. Obsahuje slovník pojmů, který mohou i samotní studenti rozšiřovat. Pro diskutování o problémech je zde umístěno i diskusní fórum.

V třetí podkapitole (tématu) jsou pak zmíněny doplňkové, kvalitní a ověřené zdroje k dané problematice.

V průběhu praktika má student možnost do systému vstupovat a doplňovat si znalosti v přímé návaznosti na praktickou úlohu. Byť to zcela nesouvisí s konceptem MSL, kterému je tento materiál věnován, je třeba alespoň okrajově zmínit důležitý zpětnovazebný prvek, který je včleněn do kurzu a je studenty využíván v průběhu praktika. Jde o tzv. „inteligentní protokol“. Jedná se o kontrolní materiál s vnitřní logikou, který studentovi kontroluje jeho výpočty v reálném čase. S naměřenými daty studenta jsou v rámci kontrolní logiky protokolu prováděny stejné výpočty, které by měl provést i student. Tento materiál tak dovede studenta poměrně přesně upozornit na místo, kde při výpočtu udělal chybu.

Z důvodu získání zpětné vazby o našich kurzech jsme do praktické výuky včlenili ještě speciální evaluační kurz na podkladě upravené metodiky eLSE (viz kapitolu o evaluaci e-learningu), kdy studenti sami hodnotí, jak se jim s našimi on-line kurzy pracuje.

8.1.2 Popis metodiky vyhodnocení pilotního projektu

Projekt byl z časových důvodů naplánován jako **retrospektivně prospektivní**. Vlastní provedení pak bylo rozděleno do dvou fází:

- V první fázi probíhala klasická výuka v rámci semestru za použití standardních materiálů používaných v předešlých letech. V průběhu semestru byly na základě dříve popsaných principů připravovány kurzy pro předem vybraná témata. Dále byly pro určená témata vybrány typové testové úlohy se střední obtížností a to tak, že každé téma mělo být v testu zastoupeno třemi úlohami. Aby bylo zajištěno získání odpovědí od maximálního možného počtu studentů, bylo rozhodnuto, že typové úlohy budou použity v rámci semestrálních testů, které jsou pro všechny studenty povinné.
 - Původní představa, že budou typové úlohy vybrány na základě statistického zhodnocení úspěšnosti studentů v testech z předchozích let a následně budou úlohy stejného typu specificky zakomponovány do semestrálního testu, se v praxi ukázala jako ne zcela reálná hlavně díky časové náročnosti a nedostatku dat z minulých let.
 - V praxi tedy byly vybrány typové úlohy v již psaných semestrálních a rigorózních testech na základě zkušeností vyučujících z předchozích let. Bohužel nebylo možné dohledat pro každé téma tři typové úlohy v jednom testu a původně plánované spojení více testů se ukázalo být prakticky neproveditelné (pro velmi rozdílnou úroveň přípravy studentů, úniky zadání některých testů, aj.).
- V druhé fázi byly na počátku semestru jako podpora praktické výuky spuštěny e-learningové kurzy vč. evaluace výše popsanou metodikou eLSE.
 - Statistické zpracování bylo provedeno v MS Excel výše popsaným způsobem chí-kvadrát testem dobré shody. V prvním kroku byly spočítány očekávané četnosti a pak byla použita funkce „CHISQ.TEST“, jejímž výstupem je p-hodnota.

Do semestrálních testů pak byly opět zapracovány typové úlohy. Dopad nové metody na znalosti studentů jsme otestovali porovnáním výsledků ze semestrálních testů v období před využíváním e-learningu a následně v období s podporou e-learningu.

- Z důvodu nutnosti částečného zjednodušení situace jsme vycházeli z předpokladu, že se kvalita studentů meziročně statisticky významně nemění. Statistické zpracování bylo provedeno v MS Excel. Při hodnocení otázek byl evidován počet správných odpovědí n_1 a celkový počet otázek n_2 , data mají binomické rozdělení. Pro vyhodnocení byl použit test shody parametrů dvou binomických rozdělení. Nulová hypotéza předpokládá stejnou pravděpodobnost správné odpovědi v porovnávaných letech (testech), tj. $p_1 = p_2$, alternativní že se liší. Testové kritérium

$$t = \frac{p_1 - p_2 - (\pi_1 - \pi_2)}{\sqrt{\frac{\pi_1(1-\pi_1)}{n_1} + \frac{\pi_2(1-\pi_2)}{n_2}}} \dots N(0, 1)$$

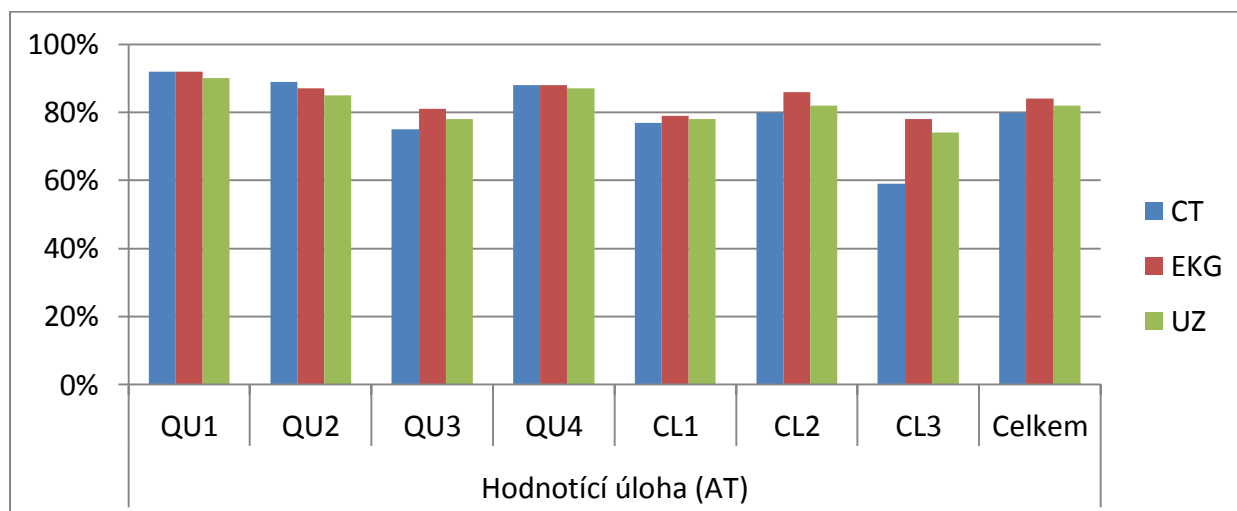
kde p_1 a p_2 jsou teoretické pravděpodobnosti, π_1 a π_2 jsou zjištěné pravděpodobnosti, má normální rozdělení, obor přijetí pro hladinu významnosti 0,05 je tedy $(-1,96; 1,96)$, z testového kritéria byla spočítána p-hodnota ($p = 2 \cdot (1 - z(t))$). Hromadný výpočet byl proveden v MS Excel, výsledky byly ještě ověřeny pomocí software NCSS 2007 (Proportions – Two Independent). (32)

8.2 Výsledky evaluace kurzů pilotního projektu

Níže uvedená tabulka a graf podávají souhrnný přehled výsledků evaluace. Jsou uvedeny výsledky kurzů v jednotlivých hodnotících úlohách – AT. Dále i celkové procentuální hodnocení dosažené kurzem. P-hodnoty pro jednotlivé otázky (parametry) užitých AT nepřesáhly hladinu významnosti 0,05. Na základě získaných evaluačních dat lze kurzy hodnotit jako kvalitní. Druhý graf zachycuje subjektivní hodnocení jednotlivých kurzů studenty. Podrobnější rozbor výsledků evaluace dle kurzů je obsahem následujících podkapitol.

Tabulka 3: Souhrnný přehled výsledků evaluace jednotlivých kurzů

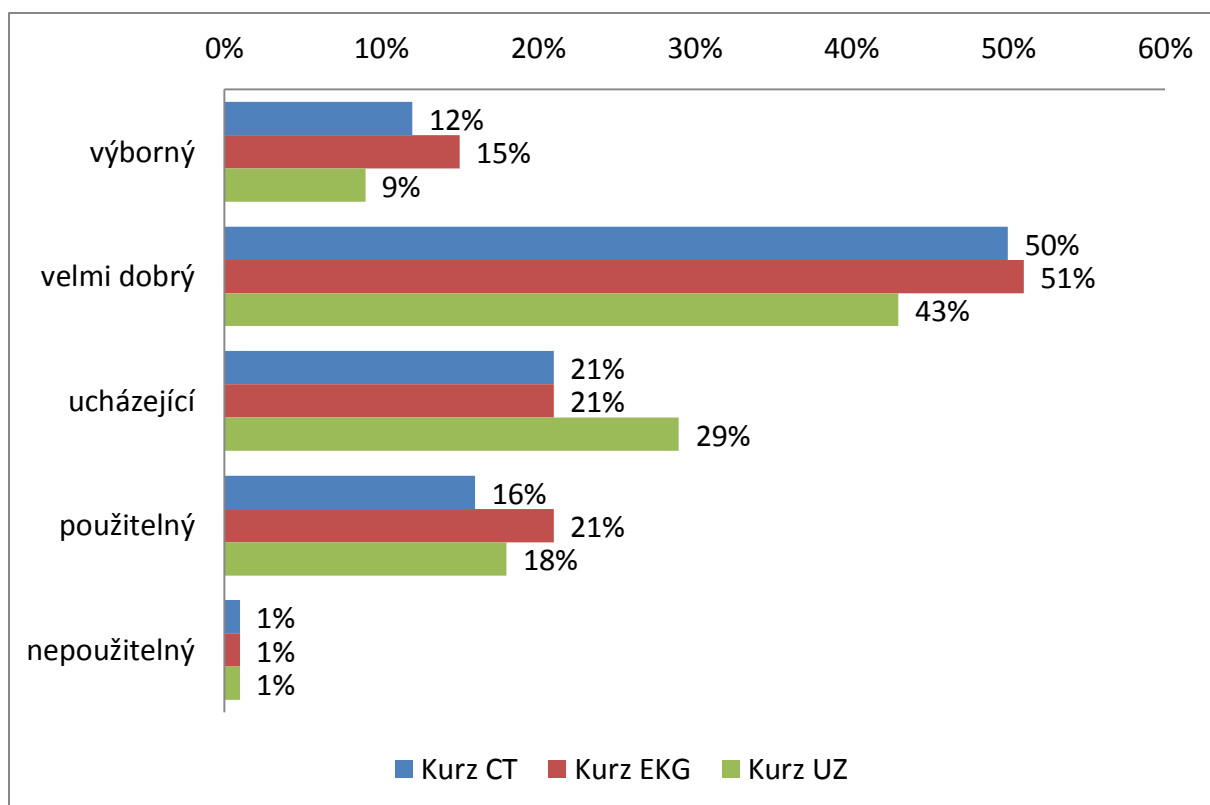
Kurz	Hodnotící úloha (AT)							Celkem
	QU1	QU2	QU3	QU4	CL1	CL2	CL3	
CT	92%	89%	75%	88%	77%	80%	59%	80%
EKG	92%	87%	81%	88%	79%	86%	78%	84%
UZ	90%	85%	78%	87%	78%	82%	74%	82%



Graf 1: Souhrnný přehled výsledků evaluace jednotlivých kurzů

Legenda:

QU1	Design systému
QU2	Dostupnost komunikačních nástrojů
QU3	Sebehodnotící nástroje
QU4	Hodnocení uživatelů
CL1	Struktura kurzu
CL2	Organizace informací
CL3	Validita zpětné vazby systému
CL4	Subjektivní hodnocení



Graf 2: Subjektivní hodnocení kurzů studenty

8.2.1 Kurz CT

Následující tabulka shrnuje vyhodnocení jednotlivých hodnotících úloh a kurzu jako celku. Souhrnné hodnocení za každou hodnotící úlohu (AT) je uvedeno červeně.

Hodnocení kurzu CT

80%

Hodnotící úloha v detailu

Odpovědí + - % score p-value

Design systému

Použité barvy písma	142	135	7	95%	6,50E-27
Použité fonty písma a velikosti	142	138	4	97%	2,45E-29
Použité dynamické prvky (posuvný, blikající text)	142	126	16	89%	2,68E-20
Netextové elementy (obrázky, videa..)	142	124	18	87%	5,82E-19

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

92%

Dostupnost komunikačních nástrojů

Nástroje pokrývají dostatečně všechny části aplikace	145	122	23	84%	2,01E-16
Studenti mohou komunikovat dohromady s vyučujícím a sami mezi sebou	145	134	11	92%	1,71E-24
Komunikační nástroje jsou svým typem voleny vhodně	145	130	15	90%	1,29E-21

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

89%

Sebehodnotící nástroje

Nástroje pro sebehodnocení (testy nabytých znalostí) jsou použity v adekvátní míře a účelně	141	100	41	71%	6,74E-07
Svým typem jsou v daném umístění sebehodnotící nástroje vhodně vybrány	141	112	29	79%	2,75E-12

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

75%

Hodnocení uživatelů

Použité hodnotící škály jsou dostatečně srozumitelné	138	122	16	88%	1,82E-19
Design zkušebních nástrojů neovlivňuje výsledky zkoušení	138	130	8	94%	2,89E-25
Nástroje pro zadávání/odevzdávání úkolů jsou intuitivně použitelné	138	113	25	82%	6,83E-14

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

88%

Struktura kurzu

Obsažená témata se neuchylují od hlavní myšlenky	145	123	22	85%	4,96E-17
Délka kurzu a obsah jsou přiměřené, není jej třeba dělit do více kurzů	145	108	37	74%	3,72E-09
Kurz není členěn nadbytečně či nedostatečně	145	103	42	71%	4,07E-07
Rozčlenění do témat je vhodné (jednotlivá témata se nepřekrývají, jsou vhodně volena a dostatečně vysvětlena)	145	98	47	68%	2,28E-05
Informace v kurzu jsou umístěny logicky	145	129	16	89%	6,34E-21

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

77%

Organizace informací

Obsažené informace jsou v kurzu distribuovány rovnoměrně	141	116	25	82%	1,81E-14
Informace jsou snadno a logicky vyhledatelné v textu	141	116	25	82%	1,81E-14

Možnosti prostředí (multimedia, odkazy...) jsou
vzhledem k charakteru vykládané látky využity
dostatečně

141 102 39 72% 1,12E-07

Zásadní informace o probírané látce nechybí

141 119 22 84% 3,11E-16

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

80%

Validita zpětné vazby

Ve zpětné vazbě systému jsou dostatečně obsaženy
všechny části probírané látky, žádná nebyla
opomenuta

138 81 57 59% 4,11E-02

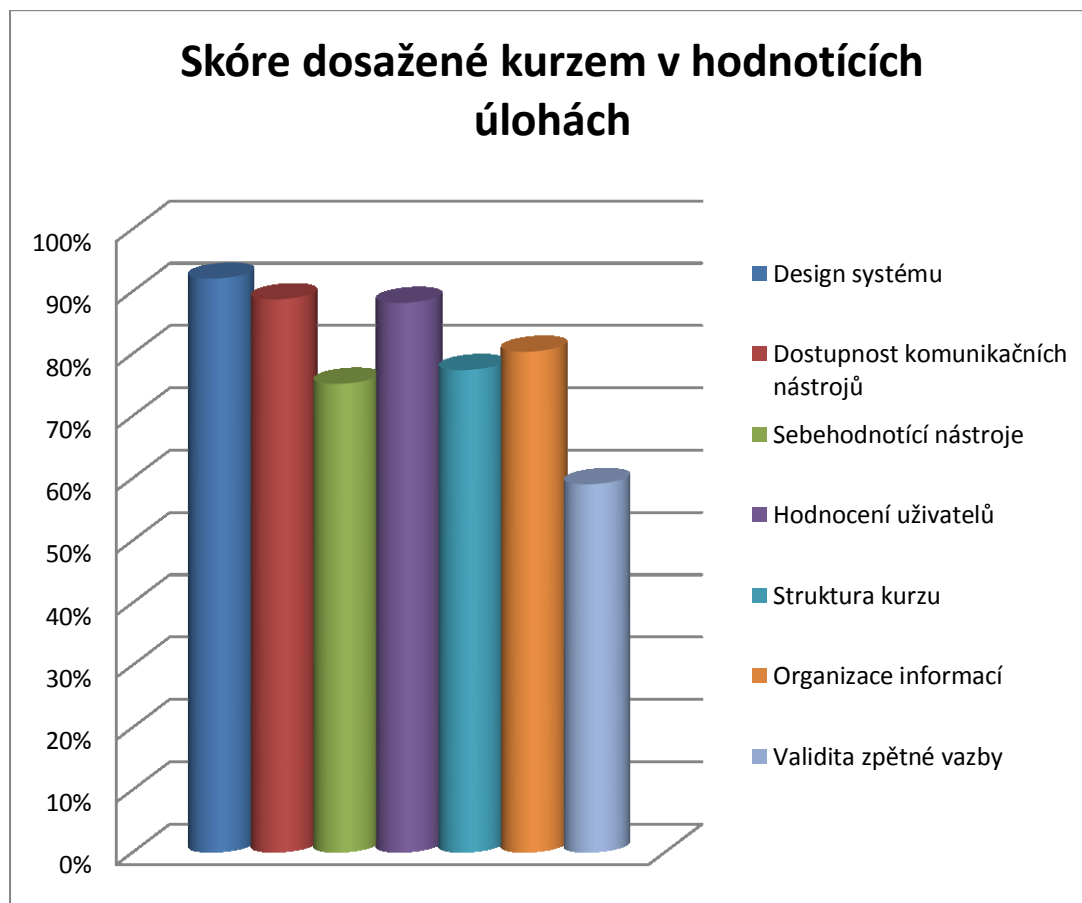
Validita zpětné vazby je dostatečná - vypovídá o
reálně nabytých znalostech...

138 82 56 59% 2,69E-02

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

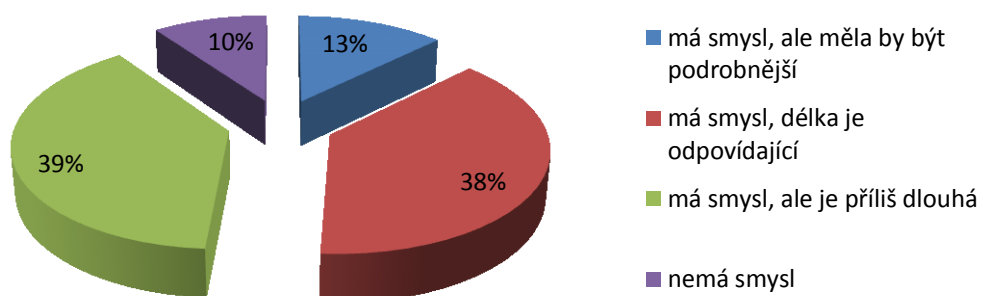
59%

Jak je z tabulky patrné, v naprosté většině případů byla p-hodnota blízká nule, což odpovídá vysokému procentu pozitivních reakcí, k překročení hladiny významnosti 5 % nedošlo ani v jediném případě. Dle kritérií stanovených evaluační metodikou lze kurz označit za kvalitní. Grafickou reprezentaci výsledků obsahují následující grafy.



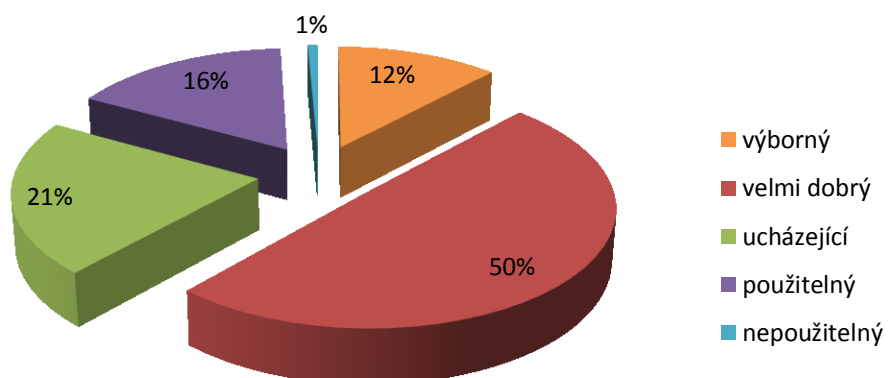
Graf 3: Skóre dosažené kurzem CT v hodnotících úlohách

Evaluace prováděná touto formou:



Graf 4: Přínos formy evaluace u kurzu CT

Subjektivní hodnocení kurzu studenty:



Graf 5: Subjektivní hodnocení kurzu CT studenty

8.2.2 Kurz EKG

Následující tabulka shrnuje vyhodnocení jednotlivých hodnotících úloh a kurzu jako celku. Souhrnné hodnocení za každou hodnotící úlohu je uvedeno červeně.

Hodnocení kurzu EKG

84%

Hodnotící úloha v detailu

Odpovědí + - % score p-values

Design systému

Použité barvy písma	134	130	4	97%	1,36E-27
Použité fonty písma a velikosti	134	131	3	98%	2,02E-28
Použité dynamické prvky (posuvný, blikající text)	134	113	21	84%	1,90E-15
Netextové elementy (obrázky, videa..)	134	119	15	89%	2,61E-19

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

92%

Dostupnost komunikačních nástrojů

Nástroje pokrývají dostatečně všechny části aplikace	130	110	20	85%	2,94E-15
Studenti mohou komunikovat dohromady s vyučujícím a sami mezi sebou	130	120	10	92%	5,03E-22
Komunikační nástroje jsou svým typem voleny vhodně	130	110	20	85%	2,94E-15

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

87%

Sebehodnotící nástroje

Nástroje pro sebehodnocení (testy nabytých znalostí) jsou použity v adekvátní míře a účelně	131	100	31	76%	1,65E-09
Svým typem jsou v daném umístění sebehodnotící nástroje vhodně vybrány	131	111	20	85%	1,85E-15

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

81%

Hodnocení uživatelů

Použité hodnotící škály jsou dostatečně srozumitelné	127	111	16	87%	3,46E-17
Design zkušebních nástrojů neovlivňuje výsledky zkoušení	127	119	8	94%	6,88E-23
Nástroje pro zadávání/odevzdávání úkolů jsou intuitivně použitelné	127	107	20	84%	1,16E-14

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

88%

Struktura kurzu

Obsažená témata se neuchylují od hlavní myšlenky	124	111	13	90%	1,36E-18
Délka kurzu a obsah jsou přiměřené, není jej třeba dělit do více kurzů	124	91	33	73%	1,90E-07
Kurz není členěn nadbytečně či nedostatečně	124	91	33	73%	1,90E-07
Rozčlenění do témat je vhodné (jednotlivá témata se nepřekrývají, jsou vhodně volena a dostatečně vysvětlena)	124	86	38	69%	1,63E-05
Informace v kurzu jsou umístěny logicky	124	112	12	90%	2,70E-19

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

79%

Organizace informací

Obsažené informace jsou v kurzu distribuovány rovnoměrně	127	111	16	87%	3,46E-17
Informace jsou snadno a logicky vyhledatelné v textu	127	103	24	81%	2,38E-12

Možnosti prostředí (multimedia, odkazy...) jsou
vzhledem k charakteru vykládané látky využity
dostatečně

127 104 23 82% 6,59E-13

Zásadní informace o probírané látce nechybí

127 118 9 93% 3,96E-22

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

86%

Validita zpětné vazby

Ve zpětné vazbě systému jsou dostatečně obsaženy
všechny části probírané látky, žádná nebyla
opomenuta

126 91 35 72% 6,07E-07

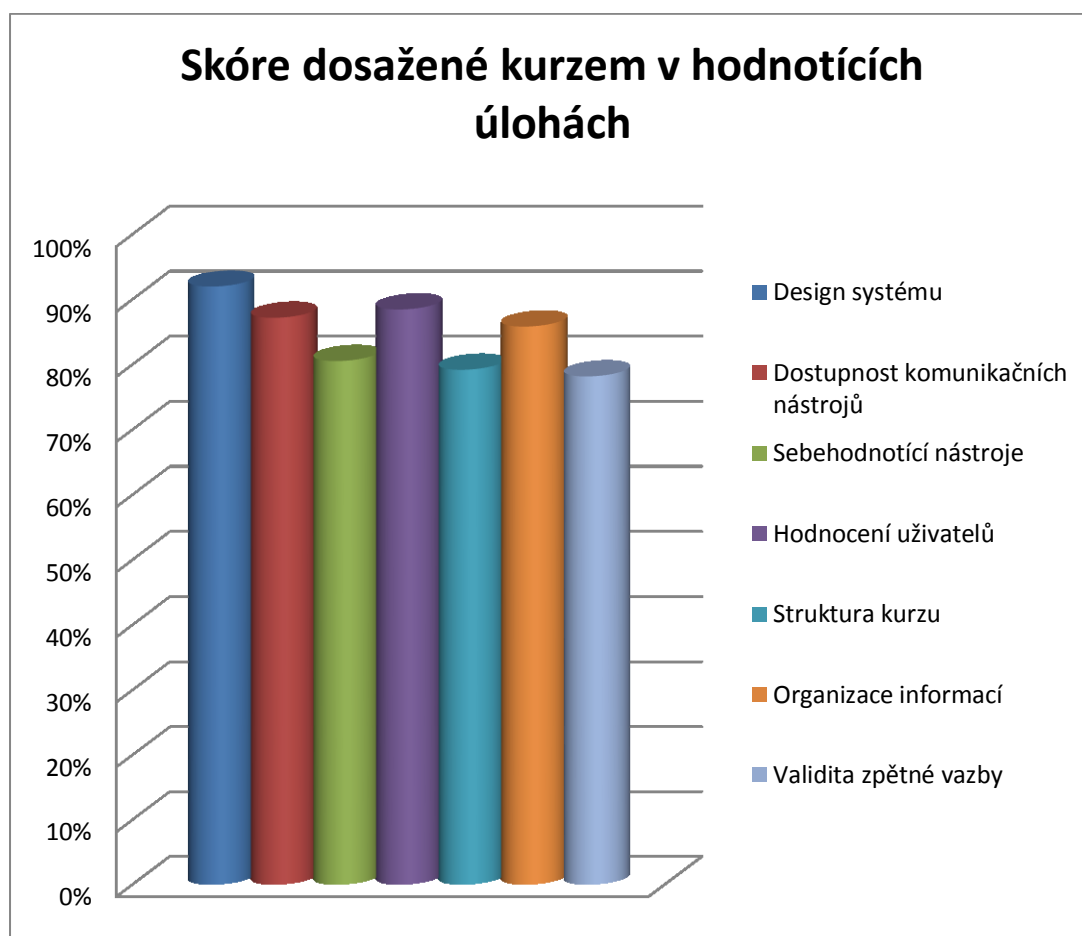
Validita zpětné vazby je dostatečná - vypovídá o
reálně nabytých znalostech...

126 106 20 84% 1,84E-14

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

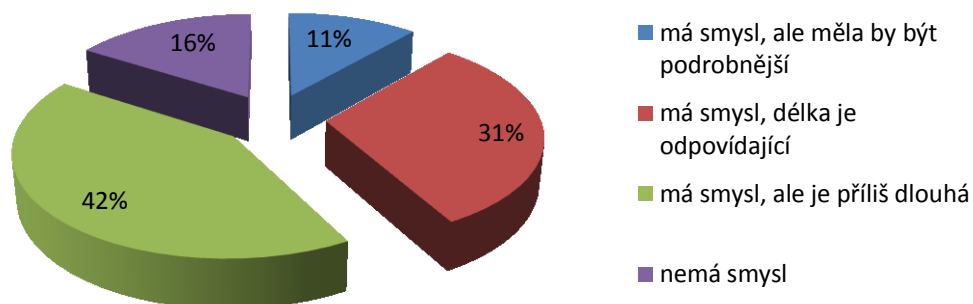
78%

Jak je z tabulky patrné, v naprosté většině případů byla p-hodnota blízká nule, což odpovídá vysokému procentu pozitivních reakcí, k překročení hladiny významnosti 5 % nedošlo ani v jediném případě. Dle kritérií stanovených evaluační metodikou lze kurz označit za kvalitní. Následující grafy zobrazují grafickou reprezentaci výsledků obsažených v tabulce.



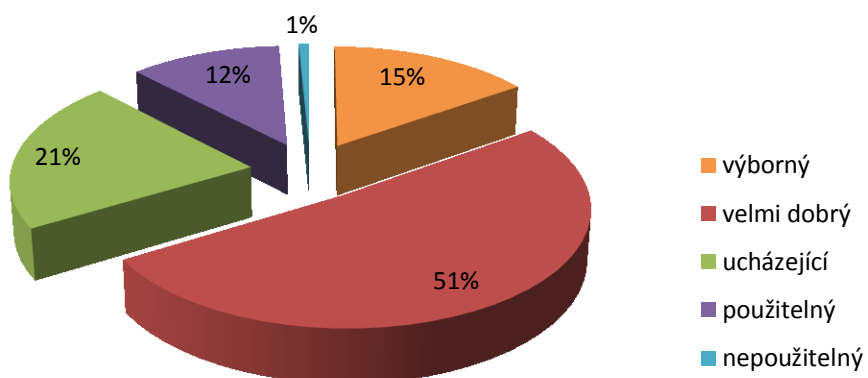
Graf 6: Skóre dosažené kurzem EKG v hodnotících úlohách

Evaluace prováděná touto formou:



Graf 7: Přínos formy evaluace u kurzu EKG

Subjektivní hodnocení kurzu studenty:



Graf 8: Subjektivní hodnocení kurzu EKG studenty

8.2.3 Kurz UZ

Následující tabulka shrnuje vyhodnocení jednotlivých hodnotících úloh a kurzu jako celku. Souhrnné hodnocení za každou hodnotící úlohu je uvedeno červeně.

Hodnocení kurzu UZ

82%

Hodnotící úloha v detailu

Odpovědí + - % score p-value

Design systému

Použité barvy písma	142	133	9	94%	2,33E-25
Použité fonty písma a velikosti	142	135	7	95%	6,50E-27
Použité dynamické prvky (posuvný, blikající text)	142	122	20	86%	1,13E-17
Netextové elementy (obrázky, videa..)	142	121	21	85%	4,79E-17

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

90%

Dostupnost komunikačních nástrojů

Nástroje pokrývají dostatečně všechny části aplikace	133	107	26	80%	2,16E-12
Studenti mohou komunikovat dohromady s vyučujícím a sami mezi sebou	133	118	15	89%	4,21E-19
Komunikační nástroje jsou svým typem voleny vhodně	133	113	20	85%	7,38E-16

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

85%

Sebehodnotící nástroje

Nástroje pro sebehodnocení (testy nabytých znalostí) jsou použity v adekvátní míře a účelně	132	97	35	73%	6,80E-08
Svým typem jsou v daném umístění sebehodnotící nástroje vhodně vybrány	132	108	24	82%	2,65E-13

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

78%

Hodnocení uživatelů

Použité hodnotící škály jsou dostatečně srozumitelné	126	110	16	87%	5,56E-17
Design zkušebních nástrojů neovlivňuje výsledky zkoušení	126	117	9	93%	6,49E-22
Nástroje pro zadávání/odevzdávání úkolů jsou intuitivně použitelné	126	101	25	80%	1,28E-11

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

87%

Struktura kurzu

Obsažená témata se neuchylují od hlavní myšlenky	131	120	11	92%	1,68E-21
Délka kurzu a obsah jsou přiměřené, není jej třeba dělit do více kurzů	131	100	31	76%	1,65E-09
Kurz není členěn nadbytečně či nedostatečně	131	91	40	69%	8,35E-06
Rozčlenění do témat je vhodné (jednotlivá témata se nepřekrývají, jsou vhodně volena a dostatečně vysvětlena)	131	82	49	63%	3,94E-03
Informace v kurzu jsou umístěny logicky	131	120	11	92%	1,68E-21

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

78%

Organizace informací

Obsažené informace jsou v kurzu distribuovány rovnoměrně	122	101	21	83%	4,39E-13
Informace jsou snadno a logicky vyhledatelné v textu	122	106	16	87%	3,69E-16

Možnosti prostředí (multimedia, odkazy...) jsou vzhledem k charakteru vykládané látky využity dostatečně

122 94 28 77% 2,30E-09

Zásadní informace o probírané látce nechybí

122 99 23 81% 5,96E-12

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

82%

Validita zpětné vazby

Ve zpětné vazbě systému jsou dostatečně obsaženy všechny části probírané látky, žádná nebyla opomenuta

128 87 41 68% 4,79E-05

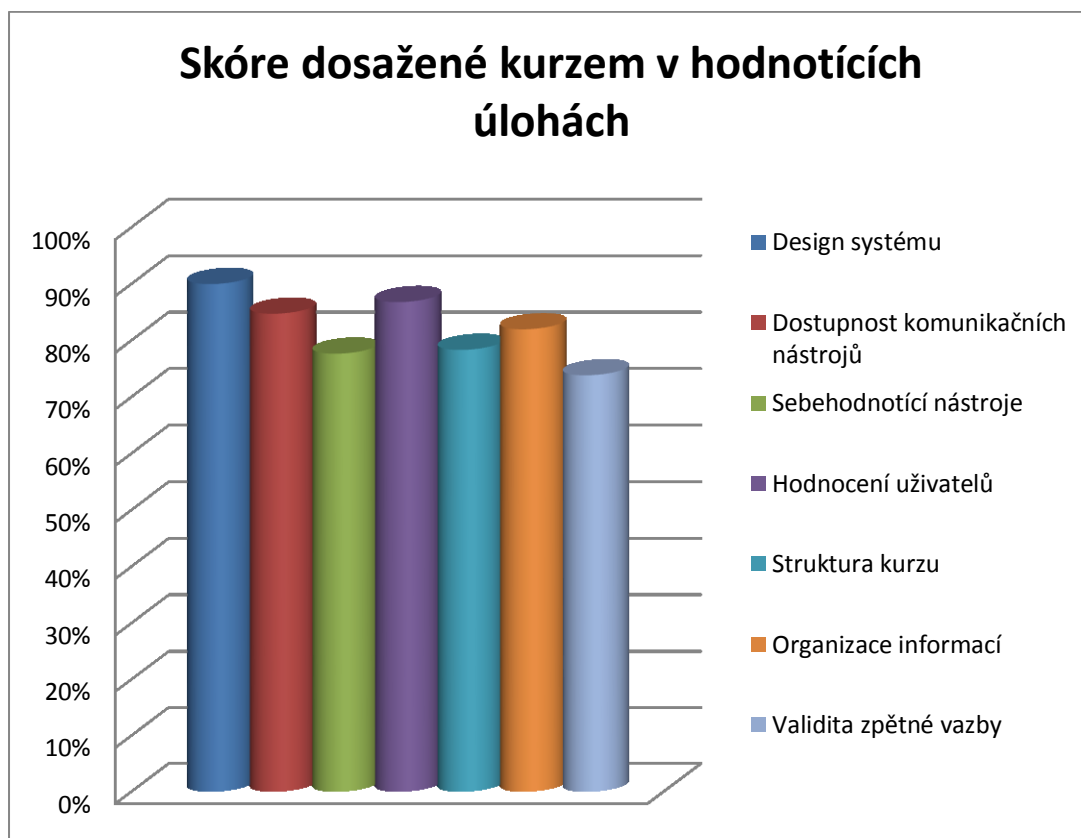
Validita zpětné vazby je dostatečná - vypovídá o reálně nabytých znalostech...

128 102 26 80% 1,85E-11

Celkové hodnocení AT (průměr procentového score)

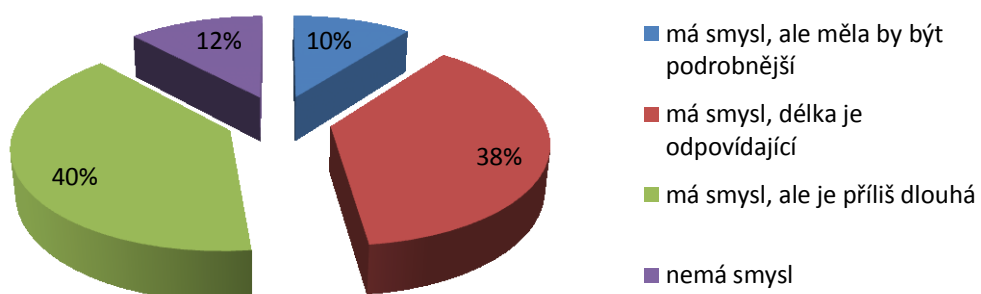
74%

Jak je z tabulky patrné, v naprosté většině případů byla p-hodnota blízká nule, což odpovídá vysokému procentu pozitivních reakcí, k překročení hladiny významnosti 5 % nedošlo ani v jediném případě. Dle kritérií stanovených evaluační metodikou lze kurz označit za kvalitní. Následující grafy zobrazují grafickou reprezentaci výsledků obsažených v tabulce.



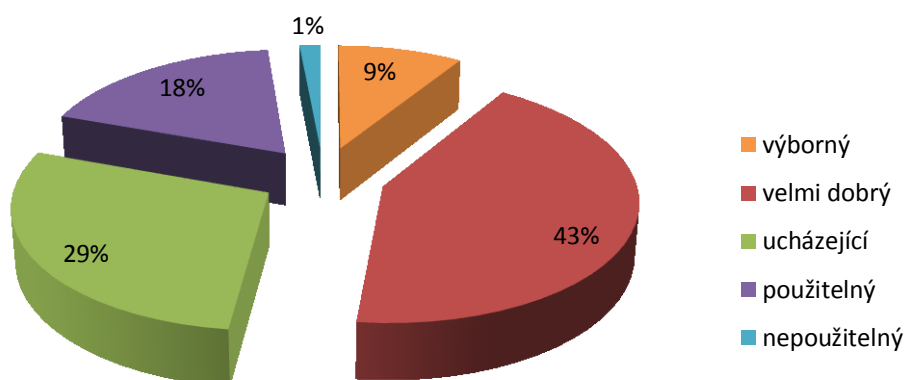
Graf 9: Skóre dosažené kurzem UZ v hodnotících úlohách

Evaluace prováděná touto formou:



Graf 10: Přínos formy evaluace u kurzu UZ

Subjektivní hodnocení kurzu studenty:



Graf 11: Subjektivní hodnocení kurzu UZ studenty

8.3 Výsledky srovnání výuky bez a s podporou e-learningu

Získaná data (výsledky odpovědí na typové otázky) byla ve valné většině ze semestrálních testů. V několika případech, kdy data nebyla dostupná, bylo místo semestrálního testu použito ke srovnání testu rigorózního. Srovnání proběhlo mezi daty z roku 2008, kdy výuka probíhala bez podpory e-learningu, a daty z let 2009 a 2010, ve kterých již byla výuka podporována elektronickými kurzy.

Byť byl celý projekt plánován původně jako dvouletý, byl pro potíže se získáním příslušných validních dat prodloužen o další rok. Bohužel se nám **nepodařilo prokázat statisticky významnou změnu v dopadu našeho e-learningu jako celku na kvalitu znalostí studenta.**

Díky zkušenostem nabytým při realizaci a následném vyhodnocení tohoto projektu je jeho výsledkem také vytvoření zcela nové metodiky pro tvorbu a zpracování typových otázek do testu. Nově byla vytvořena databáze typových otázek s možností generování numerických variant. Veškeré testy se tak mohou skládat z libovolných jasně definovaných typových otázek. **Každý student tedy může v testu dostat jinou numerickou variantu stejné typové otázky.** Testy je možno uložit a libovolně znovu použít v dalších letech. Databáze je postavena na testovém modulu LMS Moodle, což umožňuje i případný standardizovaný export a sdílení jednotlivých sad otázek s jinými pracovišti.

V dalším textu budou formou tabulek prezentovány získané výsledky srovnání mezi lety 2008 - 2009 a 2008 – 2010. V obou případech je srovnávána výuka klasická s výukou podpořenou elektronicky. Srovnání mezi lety 2009 – 2010, kdy v obou letech již byla výuka podpořena e-learningem, je uvedeno spíše pro zajímavost. Jelikož došlo k drobným úpravám samotných kurzů meziročně, nelze bohužel toto srovnání použít k posouzení našeho předpokladu, že kvalita studentů se meziročně nemění statisticky významně.

Krom procenta úspěšnosti v jednotlivých letech jsme do tabulek včlenili i souhrnné slovní hodnocení: zlepšení/zhoršení. Zlepšení je pro větší grafickou přehlednost odlišeno tmavě zeleným písmem na světle zeleném pozadí, zhoršení pak tmavě červeným písmem na růžovém pozadí.

Obdobně jsme graficky rozlišili i statistickou významnost výsledků. Statisticky významný výsledek na hladině významnosti 5% je uveden jako tmavě zelený text na světle zeleném pozadí. Výsledek statisticky významný na hladině významnosti 10% je uveden jako okrový text na žlutém pozadí a výsledek statisticky nevýznamný je uveden jako tmavě červený text na růžovém pozadí.

Následující tabulka podává souhrnnou informaci o porovnání dvou ročníků (2009 a 2010) vyučovaných s podporou e-learningu s ročníkem bez elearningu (2008).

Tabulka 4: Souhrnné zpracování porovnání výsledků s podporou a bez podpory e-learningu

Souhrn		UZ+EKG+CT
2008	počet správných odpovědí	426
	celkem	640
	procento úspěšnosti	67%
2009+2010	počet správných odpovědí	1106
	celkem	1731
	procento úspěšnosti	64%
		zhoršení
	testové kritérium	1,22
	p-hodnota	0,22

Srovnání dopadu klasické formy výuky tématu CT s elektronicky podpořenou formou jsou uvedeny ve dvou následujících tabulkách. Pro nedostatek použitelných dat v semestrálním testu z roku 2008 bylo nutno pro srovnání místo testu semestrálního použít test rigorózní. V roce 2010 rigorózní test neobsahoval typové otázky použitelné pro srovnání, proto srovnání není zařazeno.

Tabulka 5: Srovnání výsledků typových otázek pro kurz CT mezi lety 2008 (bez e-learningu) a 2009 (s elearningem). Typová otázka č. 2 nebyla v roce 2009 součástí rigorózního testu.

CT		o1	o2	o3	o1+o2+o3
2008 rigo	počet správných odpovědí	81	74	70	225
	celkem	88	88	88	264
	procento úspěšnosti	92%	84%	80%	85%
2009 rigo	počet správných odpovědí	30		83	113
	celkem	93		93	186
	procento úspěšnosti	32%		89%	61%
		zhoršení		zlepšení	zhoršení
	testové kritérium	10,60		-1,81	5,84
	p-hodnota	0,00E+00		0,07	5,35E-09

Tabulka 6: Meziroční srovnání výsledků u kurzu CT při použití e-learningu.

CT		o1	o2	o3	o1+o2+o3
2009	počet správných odpovědí	78	71	90	239
	celkem	136	136	136	408
	procento úspěšnosti	57%	52%	66%	59%
2010	počet správných odpovědí	53	101	93	247
	celkem	143	143	143	429
	procento úspěšnosti	37%	71%	65%	58%
		zhoršení	zlepšení	zhoršení	zhoršení
	testové kritérium	3,46	-3,21	0,20	0,29
	p-hodnota	5,31E-04	1,31E-03	0,84	0,77

Srovnání dopadu klasické formy výuky tématu EKG s elektronicky podpořenou formou shrnují tři níže uvedené tabulky.

Tabulka 7: Srovnání výsledků typových otázek pro kurz EKG mezi lety 2008 (bez e-learningu) a 2009 (s elearningem). Typová otázka č. 3 nebyla v roce 2008 součástí semestrálního testu.

EKG	o1	o2	o3	o1+o2
2008 počet správných odpovědí	81	39		120
celkem	94	94		188
procento úspěšnosti	86%	41%		64%
2009 počet správných odpovědí	119	94		213
celkem	136	136		272
procento úspěšnosti	88%	69%		78%
	zlepšení	zlepšení		zlepšení
testové kritérium	-0,29	-4,29		-3,36
p-hodnota	0,77	1,81E-05		7,68E-04

Tabulka 8: Srovnání výsledků typových otázek pro kurz EKG mezi lety 2008 (bez e-learningu) a 2010 (s elearningem). Typové otázky č. 2 a 3 nebyly součástí semestrálního testu v roce 2010.

EKG	o1	o2	o3	o1+o2
2008 počet správných odpovědí	81	39		
celkem	94	94		
procento úspěšnosti	86%	41%		
2010 počet správných odpovědí	130			
celkem	143			
procento úspěšnosti	91%			
	zlepšení			
testové kritérium	-1,10			
p-hodnota	0,27			

Tabulka 9: Meziroční srovnání výsledků u kurzu EKG při použití e-learningu.

EKG	o1	o2	o3	o1+o3
2009 počet správných odpovědí	119		109	228
celkem	136		136	272
procento úspěšnosti	88%		80%	84%
2010 počet správných odpovědí	130		124	254
celkem	143		143	286
procento úspěšnosti	91%		87%	89%
	zlepšení		zlepšení	zlepšení
testové kritérium	-0,92		-1,48	-1,71
p-hodnota	0,36		0,14	0,09

Srovnání dopadu klasické formy výuky tématu UZ s elektronicky podpořenou formou shrnují tři následující tabulky.

Tabulka 10: Srovnání výsledků typových otázek pro kurz UZ mezi lety 2008 (bez e-learningu) a 2009 (s e-learningem). Typová otázka č. 3 nebyla v roce 2008 součástí semestrálního testu.

UZ	o1	o2	o3	o1+o2
2008 počet správných odpovědí	77	4		81
celkem	94	94		188
procento úspěšnosti	82%	4%		43%
2009 počet správných odpovědí	108	23		131
celkem	136	136		272
procento úspěšnosti	79%	17%		48%
	zhoršení	zlepšení		zlepšení
testové kritérium	0,47	-3,30		-1,08
p-hodnota	0,63	9,50E-04		0,28

Tabulka 11: Srovnání výsledků typových otázek pro kurz UZ mezi lety 2008 (bez e-learningu) a 2010 (s elearningem). Typová otázka č. 3 nebyla v roce 2008 součástí semestrálního testu.

UZ	o1	o2	o3	o1+o2
2008 počet správných odpovědí	77	4		81
celkem	94	94		188
procento úspěšnosti	82%	4%		43%
2010 počet správných odpovědí	123	25		148
celkem	143	143		286
procento úspěšnosti	86%	17%		52%
	zlepšení	zlepšení		zlepšení
testové kritérium	-0,83	-3,48		-1,86
p-hodnota	0,40	4,96E-04		0,06

Tabulka 12: Meziroční srovnání výsledků u kurzu UZ při použití e-learningu.

UZ	o1	o2	o3	o1+o2
2009 počet správných odpovědí	108	23		131
celkem	136	136		272
procento úspěšnosti	79%	17%		48%
2010 počet správných odpovědí	123	25		148
celkem	143	143		286
procento úspěšnosti	86%	17%		52%
	zlepšení	zlepšení		zlepšení
testové kritérium	-1,46	-0,13		-0,85
p-hodnota	0,14	0,90		0,40

8.4 Diskuse

Ačkoli námi vytvořené kurzy se zdají být na základě výsledků evaluace poměrně kvalitní, jsme si plně vědomi toho, jelikož se jednalo o první nasazení e-learningu v našich podmínkách, že zcela jistě se do hodnocení kurzů promítá i „fenomén nové hračky“. Další faktor, který mohl ovlivnit hodnocení kurzů, je způsob, jakým byla evaluace prováděna. Tedy to, že hodnotitelé byli sami studenti. Ne vždy je totiž primární snahou studenta snaha o poznání nové věci. Mnohdy je to spíše snaha zalíbit se učiteli a absolvovat předmět co nejjednodušším způsobem. Přítomnost učitele při evaluaci může tedy celý tento nežádoucí proces facilitovat a provokovat studenty ke zkreslenému hodnocení. Při přípravě projektu jsme tomuto možnému nežádoucímu vlivu na výsledek hodnocení zdaleka nepřikládali takovou váhu, kterou mohl ve skutečnosti mít. Naše snaha založit evaluaci spíše na dobrovolnosti a nadšení studenta pro vyzkoušení a kritického hodnocení nové věci nemusela být v tomto případě nejvhodnějším přístupem. Naším pojetím věci jsme se chtěli vyhnout případu, kdy by byla evaluaci ze strany hodnotitele věnována menší dávka pozornosti, než je třeba. Jinými slovy jsme doufali, že evaluace bude takto provedena s větším důrazem na její kvalitu. Evaluace tedy byla nepovinnou součástí kurzu, což se ale v praxi ukázalo být ne zcela vhodným řešením vzhledem k faktu, že evaluační metodika je poměrně komplexní, její dokončení je časově náročné a motivace studentů k dokončení není mnohdy ideální. Je tedy na zvážení, zda by opačný přístup - evaluace v domácím prostředí jako povinná součást kurzu nevedla k odlišným výsledkům.

Po výše zmíněné zkušenosti jsme přehodnotili celou evaluační metodiku. Došlo k jejímu podstatnému zkrácení, přičemž je kladen větší důraz na organizaci informací, interaktivitu a porozumění dané problematice před způsobem, kterým je systémem vykládané učivo předkládáno. Víceméně tedy opouštíme naši modifikaci metodiky eLSE a vlastně i celou tuto metodiku pro její, jak praxe ukázala, těžkopádnost v našem prostředí. Zkrácením evaluace chceme dosáhnout minimalizace problému s jejím nekvalitním vyplněním. Evaluaci tedy plánujeme jako povinný dotazník na závěr kurzu s pěti definovanými otázkami:

- Struktura kurzu a organizace informací / stupnice 1 – 5: Byl pro Vás kurz dostatečně přehledný?

- Informační obsah / stupnice 1 - 5: Byl pro Vás kurz dostatečně přínosný – pokrývá jeho obsah dostatečně potřeby předmětu a nároky vyučujících?
- Interaktivita / stupnice Ano/Ne: Byl pro Vás kurz dostatečně interaktivní?
- Interaktivita a komunikace / stupnice 1-5: Byly použité interaktivní a komunikační prvky (výpis použitých prvků) přínosné ve studiu?
- Dodatečné sdělení / textové pole: Chybělo Vám v kurzu nějaké téma? Našli jste chybu? Máte nějaký přínosný postřeh, jak kurz vylepšit?

Evaluace již nadále nebude tak komplexní, ale bude se více zaměřovat na pro nás podstatné stránky e-learningového kurzu. Nicméně i nadále je na charakteru otázek jasně patrný vliv hodnotících úloh (AT) a metodiku eLSE stále považujeme za jasně definovaný základní kámen, na kterém lze dále stavět.

Byť se nám nepodařilo prokázat přínos e-learningu jako celku, desítky prací jasně ukazují, že elektronické metody vzdělávání na lékařských fakultách mají při vhodném způsobu použití větší dopad než metody klasické (33; 34).

Důvody, proč námi získané výsledky nemají potřebnou vypovídající hodnotu, jsou poměrně nasnadě. Způsob, který jsme zvolili pro získání dat k porovnání výuky, bohužel nebyl příliš vhodný. Hlavní příčina tkví v tom, že se nepodařilo provázat projekt s výukou až do té míry, jak bychom potřebovali a tudíž nebyly cíle projektu vždy v souladu s aktuálními potřebami výuky. V nastalé situaci, která byla navíc významně limitována časem, jsme nedokázali dosáhnout lepšího výsledku a získat dostatečné množství validních dat.

Průběh srovnávání znalostí v pilotním projektu odkryl nepřívětivou tvář reality našich psaných testů. Primárním cílem studentů je test jakýmkoli způsobem úspěšně zvládnout a o ověření znalostí a fair play jde až v poslední řadě. Mnohdy sofistikovaná a těžko odhalitelná skupinová práce při testu je zcela běžný jev, se kterým se jen složitě bojuje. Není výjimkou, že si studenti pořizují digitální záznamy zadání testů, která si dále předávají včetně výsledků. Pokud stejný test píše dvě skupiny v jiném čase, druhá skupina má vždy významně lepší výsledky. Díky výše zmíněnému faktu je jakýkoliv pokus o objektivizaci testových výsledků velmi obtížný, ne-li nemožný.

V roce 2008, jak jsme později zjistili, došlo k úniku části zadání testů ještě před tím, než byl test psán. Tento fakt může velice dobře vysvětlit až neuvěřitelný rozdíl ve znalostech v typové otázce č. 1 pro kurz CT ve srovnání roku 2008 s rokem 2009. Více než devadesáti procentní úspěšnost se naprosto vymyká i ostatním letům, které se nám podařilo dohledat, kde na tuto otázku správně odpověděla zhruba polovina studentů.

Řešením tohoto problému je již výše zmíněná modifikace metodiky tvorby testů založená na generování testů s typovými otázkami, která vede k individualizaci přístupu a alespoň částečně znesnadní sdílení a předávání výsledků testů. Od této navržené modifikace metodiky si slibujeme získání výsledků, které budou lépe odrážet reálnou situaci.

Další otázkou je, zda se kvalita jednotlivých ročníků statisticky významně liší či ne. Naše současná metodika je postavena na tom, že úroveň kvality studentů mezi jednotlivými ročníky se statisticky významně neliší. Ze subjektivní zkušenosti mnoha našich vyučujících však plyne, že v posledních letech pozvolna klesá úroveň kvality studentů prvního ročníku. Validní data ke srovnání však nemáme v současnosti dostupná. I tuto otázku by však mohla pomoci osvětlit výše zmíněná modifikace metodiky tvorby testů. V případě zjištění statisticky významného rozdílu mezi jednotlivými ročníky se následně pro posouzení dílčích změn ve výuce nabízí normování na úroveň celého takto vytvořeného testu.

9 ZÁVĚR

Závěrem lze shrnout, že na základě námi vytvořené metody mnohastupňového e-learningu se nám podařilo vytvořit dostatečně kvalitní kurzy, které jsou studenty kladně přijímány i hodnoceny.

Dále z našich zkušeností plyne, že použití metody mnohastupňového e-learningu vzhledem k pracnosti přípravy těchto kurzů má smysl pouze v případě kurzů, do kterých vstupují studenti s velmi rozdílnou úrovní vstupních znalostí. Tato metoda tedy není vhodná jako univerzální metoda tvorby kurzů. Nicméně při správném použití může ušetřit čas nejen studentům, ale i vyučujícím.

Po zkušenostech s použitím komplexní evaluační metodiky, která se ukázala být pro použití v našich podmínkách poněkud těžkopádná, jsme vytvořili odlehčenou verzi evaluační metodiky. Nová metodika by neměla tolik zatěžovat hodnotitele, protože je více soustředěna na pro nás zajímavé vlastnosti e-learningových kurzů.

Nepodařilo se nám prokázat statisticky významnou změnu ve znalostech studentů při výuce s podporou e-learningu ve srovnání s klasickou výukou. Tyto výsledky však vzhledem k problémům s použitou metodikou srovnání nemají potřebnou vypovídací hodnotu.

Na podkladě zmíněných problémů se srovnáním úrovně znalostí nabytých při použití e-learningu se znalostmi nabytými klasickou výukou jsme vytvořili novou metodiku srovnávání dosažených znalostí založenou na generování typových otázek v rámci systému Moodle a vytvořili databázi takových otázek. Od této nové metodiky si slibujeme snížení pozorovaných nežádoucích kooperativních aktivit a získání výsledků s potřebnou vypovídací hodnotou.

10 LITERATURA

1. Learning Management System. *Wikipedie, otevřená encyklopedie*. [Online] Wikimedia Foundation, 27. 4. 2010. [Citace: 22. 7. 2010.] Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Learning_Management_System.
2. History of virtual learning environments. *Wikipedia, the free encyclopedia*. [Online] Wikimedia Foundation, 5. 7. 2010. [Citace: 22. 7. 2010.] Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_virtual_learning_environments.
3. Online Learning History. *MoodleDocs*. [Online] Moodle Pty Ltd, 10. 9. 2008. [Citace: 27. 7. 2010.] Dostupné z: http://docs.moodle.org/en/Online_Learning_History.
4. **DRÁŠIL, Pavel**. Architektury moderních systémů pro řízení výuky. *Fakulta informatiky Masarykovy univerzity*. [Online] 30. 3. 2005. [Citace: 27. 7. 2010.] Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/~xdrasil/studium/techreports/Architektury.pdf>.
5. **KVĚTOŇ, Karel, FRÝDA, Michal**. Vzdělávací standardy. *E-LEARNING PORTÁL*. [Online] ČVUT FEL, 23. 11. 2006. [Citace: 27. 7. 2010.] Dostupné z: <http://vsportal.osu.cz/showCategorya07d.html?kod=78>.
6. **DRÁŠIL, Pavel, et al.** Relevantní standardy v oblasti e-Learningu. *Technická zpráva CESNETu číslo 24/2004*. [Online] 17. 12. 2004. [Citace: 27. 7. 2010.] Dostupné z: <http://www.cesnet.cz/doc/techzpravy/2004/elearning/elearning24.pdf>.
7. **MUDRÁK, David**. Moodle.cz. [Online] [Citace: 28. 7 2010.] Dostupné z: <http://www.moodle.cz>.
8. Co je Moodle? *MoodleDocs*. [Online] Moodle Pty Ltd, 10. 12. 2006. [Citace: 28. 7. 2010.] Dostupné z: http://docs.moodle.org/cs/Co_je_Moodle.
9. Moduly. *MoodleDocs*. [Online] Moodle Pty Ltd, 16. 10. 2008. [Citace: 28. 7. 2010.] Dostupné z: <http://docs.moodle.org/cs/Moduly>.
10. **POLOVINA, Simon**. The Learning Pyramid. *Simon Polovina - personal page*. [Online] 24. 5 2010. [Citace: 4. 8 2010.] Dostupné z: <http://homepages.gold.ac.uk/polovina/learnpyramid/index.html>.

11. **RICE, William.** *Moodle 1.9 E-Learning Coures Development*. Birmingham, UK : Packt Publishing Ltd., 2008. ISBN 978-1-847193-53-7.
12. **NASH, Susan Smith, RICE, William.** *Moodle 1.9 Teaching Techniques*. Birmingham, UK : Packt Publishing Ltd., 2010. ISBN 978-1-849510-06-6.
13. Uspořádání kurzu. *MoodleDocs*. [Online] Moodle Pty Ltd, 10. 11. 2009. [Citace: 4. 8. 2010.] Dostupné z: http://docs.moodle.org/cs/Uspo%C5%99%C3%A1d%C3%A1n%C3%AD_kurzu.
14. Skupiny. *MoodleDocs*. [Online] Moodle Pty Ltd, 16. 7. 2009. [Citace: 4. 8. 2010.] Dostupné z: <http://docs.moodle.org/cs/Skupiny>.
15. Seskupení. *MoodleDocs*. [Online] Moodle Pty Ltd, 16. 7. 2009. [Citace: 4. 8. 2010.] Dostupné z: <http://docs.moodle.org/cs/Seskupen%C3%AD>.
16. Metakurzy. *MoodleDocs*. [Online] Moodle Pty Ltd, 16. 10. 2008. [Citace: 4. 8. 2010.] Dostupné z: <http://docs.moodle.org/cs/Metakurzy>.
17. Znamky. *MoodleDocs*. [Online] Moodle Pty Ltd, 6. 9. 2009. [Citace: 4. 8. 20110.] Dostupné z: <http://docs.moodle.org/cs/Zn%C3%A1mky>.
18. **KAREL, Filip, KLÉMA, Jiří.** Adaptivity in e-learning. *In Current Developments in Technology-Assisted Education*. Badajoz : Formatex, 2006. stránky 260-264. ISBN 84-690-2471-X.
19. **BIELIKOVÁ, Mária, ŠALOUN, Petr.** Adaptivní webové systémy pro vzdělávání. *Technológia vzdelávania*. 2007, vol. 15, no. 5. stránky 3-6. Dostupné z: <http://technologiovzdelavania.ukf.sk/index.php/tv/article/download/222/236>. ISSN 1338-1202.
20. **KUBEŠ, Tomáš.** Overview of Existing Adaptive Hypermedia e-Learning Systems. *In Technologie pro e-vzdělávání*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, katedra počítačů, 2007. stránky 75-89. Dostupné z: <http://acm.osu.cz/paper/tpev/tpev2007/data/TPEV-2007-el-sbornik.pdf>. ISBN 978-80-01-03756-0.

21. **NOSEK, Tomáš, et al.** Mnohastupňový e-learning (MSL). Část 1. - Tvorba kurzů na základě konceptu MSL. *Media4U Magazine*. 2010, vol. 1, no. 7. stránky 53-56. ISSN 1214-9187.

22. **NOSEK, Tomáš, et al.** 3SL koncept e-learningu, metodika, evaluace řešení. *Media4u Magazine, Mimořádné vydání - Sborník mezinárodní vědecké konference Média a vzdělávání 2008*. 2008, vol. 5, no. 5. stránky 59-62. ISSN 1214-9187.

23. **DRÁŠIL, Pavel.** Adaptivní systémy (nejen) pro podporu výuky. *Fakulta informatiky Masarykovy univerzity*. [Online] 10. 3. 2005. [Citace: 12. 8. 2010.] Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/~xdrasil/studium/techreports/AdaptSys.pdf>.

24. **VASSISLEVA, Dessislava, BONCHTEV, Boyan, GRIGOROV, Slavomir.** Mastering adaptive hypermedia courseware. *Acta Electrotechnica et Informatica*. 2009, vol. 9, no. 1. stránky 57-62. ISSN 1335-8243.

25. **EHLERS, Ulf-Daniel.** Quality in e-Learning form a Learner's Perspective. *European Journal of Open, Distance and E-Learning*. [Online] 2004. [Citace: 5. 8 2010.] Dostupné z: http://www.eurodl.org/materials/contrib/2004/Online_Master_COPs.html. ISSN 1027-5207.

26. **HERRINGTON, Anthony, et al.** Quality Guidelines for Online Courses: The Development of an Instrument to Audit Online Units. *Proc. of ASCILITE 2001, Melbourne, Australia*. [Online] 9-12. 12 2001. [Citace: 10. 8 2010.] <http://www.ascilite.org.au/conferences/melbourne01/pdf/papers/herringtona.pdf>.

27. **LANZILOTTI, Rosa, et al.** eLSE Methodology: a Systematic Approach to the e-Learning Systems Evaluation. *Journal of Educational Technology & Society*. 2006, vol. 9, no. 4. stránky 42-53. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.97.272&rep=rep1&type=pdf#page=47>. ISSN 1436-4522 (online), 1176-3647 (print).

28. **MOORE, Michael G.** Three Types of Interaction. *The American Journal of Distance Education*. 1989, vol. 3, no. 2. stránky 1-6. Dostupné z: http://www.ajde.com/Contents/vol3_2.htm. ISSN 1538-9286 (electronic) 0892-3647 (paper).

29. **BEZROUK, Aleš et al.** Methodology modification for MSL e-learning evaluation. *In MEFANET report 02, Information technology and e-learning in medical education.* Brno : Masaryk University, 21. 11 2009. stránky 74 - 77. Dostupné z: <http://www.mefanet.cz/res/file/reporty/mefanet-report-2008.pdf>. ISBN 978-80-210-4851-5.
30. **ARDITO, Carmelo, et al.** Systematic evaluation of e-learning systems: An experimental validation. *In Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction: changing roles, NordiCHI '06.* New York, NY, USA : ACM, 2006. stránky 195-202. ISBN 1-59593-325-5, DOI: 10.1145/1182475.1182496.
31. **ZVÁROVÁ, Jana.** Základy statistiky pro biomedicínské obory. *Evropské centrum pro medicínskou infromatiku, statistiku a epidemiologii.* [Online] 5. 1. 1999. [Citace: 14. 9. 2010.] Dostupné z: <http://new.euromise.org/czech/tajne/ucebnice/html/html/node12.html>.
32. **CYHELSKÝ, Lubomír, KAHOUNOVÁ, Jana, HINDLS, Richard.** *Elementární statistická analýza.* Praha : Management Press, 1996. str. 269. ISBN 80-85943-18-2.
33. **JWAYYED, Sharhabeel et al.** Technology-assisted education in graduate medical education: a review of the literature. *International Journal of Emergency Medicine.* 2011. vol. 4, no. 1, s. 51. ISSN 1865-1380.
34. **WONG, Geof et al.** Internet-based medical education: a realist review of what works, for whom and in what circumstances. *BMC Medical Education.* 2010. vol. 10, no. 1, s. 12. ISSN 1472-6920.

11 PŘÍLOHY

11.1 Dotazník modifikované metodiky eLSE pro evaluaci e-learningu

11.1.1 Design systému

AT klasifikační kód: QU01

AT jméno: Design systému

Posuzovaná část: grafická stránka systému

Záměr: posoudit přehlednost systému po grafické stránce

Popis úlohy: zhodnotit:

- barvu písma
- velikost písma a použitý font
- barvu pozadí
- vhodné použití dynamických prvků (posuvný, blikající text)
- umístění netextových objektů - logická návaznost na text

Výstup: vyjádřit se k dané úloze v následujícím smyslu:

- písmo je příliš barevné, snižuje srozumitelnost
- písmo a font není jednoduše čitelné
- použité dynamické (blikající a posuvný text) elementy rozptylují
- netextové elementy (obrázky, videa..) jsou nevhodně umístěny, nekorespondují s textem či matou

Otázky:

Použité barvy písma:

- a) NEjsou vhodně zvoleny, jsou mdlé či příliš barevné, což snižuje čitelnost či srozumitelnost
- b) jsou v pořádku

Použité fonty písma a velikosti:

- a) NEjsou jednoduše čitelné
- b) jsou jednoduše čitelné

Použité dynamické prvky (posuvný, blikající text)

- a) NEjsou vhodně použity
- b) jejich použití je na místě, vhodně zvýrazňují či upozorňují na podstatné věci
- c) NEjsou užity a nechybí
- d) jejich užití chybí

Netextové elementy (obrázky, videa..)

- a) NEjsou vhodně umístěny, nekorespondují s textem či matou
- b) jejich umístění je v pořádku
- c) NEjsou užity a nechybí
- d) jejich použití chybí

11.1.2 Dostupnost komunikačních nástrojů

AT klasifikační kód: QU02

AT jméno: Dostupnost komunikačních nástrojů

Posuzovaná část: použité komunikační nástroje

Záměr: posoudit vhodnost použití použitých komunikačních nástrojů, ověřit dostupnost

Popis úlohy:

- rozpoznat komunikační nástroje
- komunikace s ostatními studenty a vyučujícím
- posoudit vhodnost použití daného typu nástroje

Výstup:

- komunikační nástroje nepokrývají dostatečně všechny části aplikace
- není možné komunikovat dohromady s vyučujícím a studenty
- komunikační nástroje jsou svým typem voleny nevhodně vzhledem k místu použití

Otázky:

V kurzu jsou použity následující komunikační nástroje:
(otázka mnohočetného výběru)

- a) diskusní fóra
- b) chaty
- c) wiki moduly (viz Wikipedii)

Komunikační nástroje:

- a) NEpokrývají dostatečně všechny části aplikace
- b) pokrývají dostatečně všechny části aplikace

Studenti:

- a) mohou komunikovat dohromady s vyučujícím a sami mezi sebou
- b) NEmohou komunikovat dohromady s vyučujícím a sami mezi sebou

Komunikační nástroje jsou svým typem voleny:

- a) NEvhodně vzhledem k místu použití
- b) vhodně vzhledem k místu použití

11.1.3 Sebehodnoticí nástroje

AT klasifikační kód: QU03

AT jméno: Sebehodnoticí nástroje

Posuzovaná část: použité nástroje pro hodnocení svého postupu a získaných znalostí

Záměr: ověřit dostupnost a vhodnost použití jednotlivých sebehodnotících nástrojů

Popis úlohy:

- identifikace použitých nástrojů
- posouzení jejich kvality

Výstup: vyjádřit se zda:

- nástroje pro sebehodnocení nejsou použity dostatečně, či vůbec
- jsou použity nadměrně až nesmyslně a jejich použití spíše zdržuje

Otázky:

Nástroje pro sebehodnocení (testy nabytých znalostí):

- a) NEjsou použity dostatečně, či vůbec
- b) jsou použity NADMĚRNĚ až nesmyslně a jejich použití spíše zdržuje
- c) jsou použity v adekvátní míře a účelně

Svým typem jsou v daném umístění sebehodnoticí nástroje

- a) NEjsou použity
- b) NEvhodně vybrány, představil bych si jiné
- c) vhodně vybrány

Pokud nejste spokojeni s typem sebehodnotících nástrojů, navrhněte níže jiné, které by mohly být použity:

11.1.4 Hodnocení uživatelů

AT klasifikační kód: QU4

AT jméno: Hodnocení uživatelů

Posuzovaná část: Použité hodnotící škály, zkušební nástroje, nástroje pro zadávání/odevzdávání úkolů

Záměr: Posoudit kvalitu užitých nástrojů a hodnotících škál

Popis úlohy:

- Identifikace použitých nástrojů
- Jejich vyzkoušení v praxi

Výstup: má obsahovat zda:

- hodnotící škály jsou nesrozumitelné
- zkušební nástroje jsou těžko ovladatelné, jejich špatný design vede ke snížení hodnocení při zkoušení
- nástroje pro zadávání zadávání/odevzdávání úkolů nejsou intuitivně použitelné

Otázky:

Použité hodnotící škály:

- a) NEjsou dostatečně srozumitelné
- b) jsou dostatečně srozumitelné

Nástroje pro zadávání zadávání/odevzdávání úkolů:*

- a) NEjsou intuitivně použitelné
- b) jsou intuitivně použitelné

Zkušební nástroje:

- a) jsou těžko ovladatelné, jejich špatný design vede ke snížení hodnocení při zkoušení
- b) jejich design neovlivňuje výsledky zkoušení

Pokud se Vám zdá, že design některých zkušebních nástrojů negativně ovlivňuje výsledky zkoušení, níže popište detailněji kterých a jakým způsobem:

11.1.5 Struktura kurzu

AT klasifikační kód: CL01

AT jméno: Struktura kurzu

Posuzovaná část: struktura kurzu

Záměr: zhodnotit užitečnost a návaznost obsažených témat (kapitol), vyjádřit se k časové náročnosti

Popis úlohy:

- posuďte vhodnost začlenění jednotlivých témat (kapitol)
- všimněte si, zda je kurz konzistentní - látka je vysvětlována v dostatečné návaznosti
- zhodnoťte časovou náročnost témat a kurzu

Výstup: musí obsahovat vyjádření, zda:

- obsažená témata se příliš uchylují od hlavní myšlenky
- kurz by bylo vhodné rozdělit na více kurzů - je příliš dlouhý či tematicky nejednotný
- kurz je málo či zbytečně příliš členěn
- kurz je nevhodně členěn - témata jsou špatně volena, neobsahují dostatečné vysvětlení či se zbytečně překrývají
- kurz je nekonzistentní - informace obsahuje, ale nejsou logicky umístěny

Otázky:

Uchylují se obsažená témata příliš od hlavní myšlenky?

- a) Ano
- b) Ne

Bylo by vhodné kurz rozdělit na více kurzů?

- a) Ano - je příliš dlouhý
- b) Ano - je tematicky nejednotný
- a) Ano - je příliš dlouhý a tematicky nejednotný
- b) Ne

Kurz je:

- a) málo členěn
- b) příliš členěn
- c) členění kurzu je v pořádku

Kurz je nevhodně členěn:

- a) témata jsou špatně volena
- b) témata se překrývají
- c) témata nejsou dostatečně vysvětlena
- d) kurz NEní nevhodně členěn

Informace v kurzu:

- a) jsou logicky umístěny
- b) nejsou logicky umístěny

11.1.6 Organizace informací

AT klasifikační kód: CL02

AT jméno: Organizace informací

Posuzovaná část: vlastní obsah kurzu

Záměr: posoudit dostupnost informací, výukový obsah

Popis úlohy:

- posoudit, zda jednotlivé části nejsou příliš informačně hutné či naopak řídké
- posoudit logické členění vykládané látky
- posoudit zda jsou dostatečně využity možnosti prostředí (multimédia, obrázky, vhodně členěný hypertext) vzhledem k vykládané látce

Výstup: zmínit zda:

- informace nejsou distribuovány rovnoměrně
- informace se špatně dohledávají v textu
- využití možností prostředí je nedostatečné vzhledem k vykládané látce
- zásadní informace chybí

Otázky:

Obsažené informace:

- a) NEjsou v kurzu distribuovány rovnoměrně
- b) jsou v kurzu distribuovány rovnoměrně

Informace:

- a) NEjsou snadno a logicky vyhledatelné v textu
- b) jsou snadno a logicky vyhledatelné v textu

Možnosti prostředí (multimédia, odkazy...) jsou vzhledem k charakteru vykládané látky:

- a) využity NEdostatečně
- b) využity dostatečně

Zásadní informace o probírané látce dle vašeho názoru:

- a) chybí
- b) NEchybí

11.1.7 Validita zpětné vazby systému

AT klasifikační kód: CL03

AT jméno: Validita zpětné vazby systému

Posuzovaná část: kvalita nástrojů zpětné vazby systému

Záměr: ověřit a posoudit funkčnost nástrojů pro zpětnou vazbu

Popis úlohy: vyzkoušet nástroje zpětné vazby

Výstup: uvést zda:

- ve zpětné vazbě systému nejsou dostatečně obsaženy všechny části probírané látky, případně některé úplně chybí
- validita zpětné vazby je nízká - nevypovídá o reálně nabytých znalostech

Otázky:

Ve zpětné vazbě systému nejsou dostatečně obsaženy všechny části probírané látky, případně některé úplně chybí...

- a) NEsouhlasím, je dostatečná
- b) souhlasím, je třeba rozšířit

Validita zpětné vazby systému je nízká - nevypovídá o reálně nabytých znalostech...

- a) souhlasím, nevypovídá
- b) NEsouhlasím, validita je dostatečná

11.1.8 Subjektivní hodnocení

Byli bychom rádi, abyste nám kurz nyní ohodnotili, tak jak na Vás celkově působil. Velmi oceníme, i pokud nám napíšete do přiloženého formuláře nějaké postřehy.

Otázky:

Kurz vám připadal jako:

- a) výborný
- b) velmi dobrý
- c) ucházející
- d) použitelný
- e) nepoužitelný

Evaluace prováděná touto formou:

- 1) má smysl, ale měla by být podrobnější
- 2) má smysl, délka je odpovídající
- 3) má smysl, ale je příliš dlouhá
- 4) nemá smysl

Níže můžete uvést Vaše další postřehy:

11.2 Typové otázky pro porovnání výuky klasické s elektronickou

11.2.1 Typové otázky pro kurz CT

1 – Deska o tloušťce 1mm pohltí 1 % záření gama. Vypočtete, kolik desek je třeba ještě minimálně přidat, aby vytvořená vrstva propustila max. 1 % tohoto záření.

- a) 99
- b) 300
- c) 273
- d) 310

2 – CT číslo tkáně je 500. Jaká je její polovrstva pro RTG záření.

- a) 9,73 cm
- b) 11,1 cm
- c) 12,2 cm
- d) 13,3 cm

3 – Napětí na anodě rentgenky i žhavení katody zvýšíme o 100 %. Jak se změní minimální vlnová délka brzdného záření?

- a) Bude o $\frac{1}{2}$ kratší
- b) Bude o 100% kratší
- c) Nezmění se
- d) Bude 10x kratší

11.2.2 Typové otázky pro kurz EKG

1 – Úhrnné amplitudy QRS komplexů v III. A II. Svodu jsou stejné a opačného znaménka. Sklon elektrické osy srdeční může být:

- a) 0°
- b) 210°
- c) 30°
- d) 180°

2 – Střední tlak krve v aortě je 12 kPa, tlaková amplituda je 6 kPa, střední rychlost krve v aortě je 46 cm/s, tepová frekvence je 160 tepů/min, práce levé komory při jednom stahu je 2100 mJ. Vypočtete střední ejekční tlak v aortě.

- a) 13,8 kPa
- b) 15,2 kPa
- c) 14,8 kPa
- d) 13,2 kPa

3 – Určete elektrickou osu srdeční, jestliže úhrnná amplituda QRS komplexu ve III. Je 0,5 mV a ve II. Svodu je -0,5 mV. Vyberte pravdivá tvrzení o EOS:

- a) EOS je 120°
- b) EOS je 180°
- c) EOS má normální hodnotu
- d) EOS má patologickou hodnotu

11.2.3 Typové otázky pro kurz UZ

1 – Na rozhraní dvou tkání se odrazilo zpět 25% dopadající ultrazvukové vlny. Platí:

- a) Akustické impedance jsou v poměru 1:4
- b) Záleží na tom, která z tkání je blíže ke zdroji UZ
- c) Akustické impedance tkání jsou v poměru 1:3
- d) Nezáleží na tom, která z tkání je blíže ke zdroji UZ

2 – Pro ultrazvukové vlnění procházející měkkou tkání platí:

- a) Rychlost šíření závisí na frekvenci vlnění
- b) Akustická impedance tkáně závisí na frekvenci vlnění
- c) Rychlost šíření závisí na teplotě
- d) Rychlost šíření je vždy větší než ve vzduchu

3 – Karotida má vnitřní průměr 6mm. Po jejím rozvětvení má I. větev průměr 4,7 mm. Rychlost proudění krve karotidou je 0,09 m/s, I. větví je 0,08 m/s a II. Větví 0,06 m/s. Spočtete průměr II. Větve.

- a) 4,53 mm
- b) 4,74 mm
- c) 4,95 mm
- d) 4,32 mm

11.3 Šablona pro skrývání částí materiálu

11.3.1 HTML – index.html

```
<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD XHTML 1.0 Strict//EN"
"http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd">
<html xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" xml:lang="cs" lang="cs">
  <head>
    <!-- ?xml version='1.0' encoding='UTF-8'? -->
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8" />
    <meta http-equiv="Content-language" content="cs" />
    <meta http-equiv="Cache-Control" content="must-revalidate, post-check=0, pre-check=0" />
    <meta http-equiv="Pragma" content="public" />
    <meta http-equiv="Cache-Control" content="no-cache" />
    <meta http-equiv="Pragma" content="no-cache" />
    <meta http-equiv="Expires" content="-1" />
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="main.css" media="all" />
    <script src="LevelSK.js"></script>
    <title>
      Název materiálu
    </title>
  </head>
  <body onload="init()">
    <div id="levelmenu">
      <b>Podrobnost textu: </b>
      <ul>
        <li class="odk" title="zobraz/skryj" onclick="zobrazSkryj('lev2');
zavisleZobrazeni('lev2','lev3','none')">
          <span class="odk_l2" onmouseover="pozadi('lev2','#ccff99');
pozadi('lev3','#ffcccc'); this.style.background='#ccff99';" onmouseout="pozadi('lev2','');
pozadi('lev3',''); this.style.background='';">
            vyšší
          </span></li>
        <li class="odk" title="zobraz/skryj"
onclick="zobrazSkryj('lev3');zavisleZobrazeni('lev3','lev2','inline');">
          <span class="odk_l3" onmouseover="pozadi('lev2','#ccff99');
pozadi('lev3','#ffcccc'); this.style.background='#ffcccc';" onmouseout="pozadi('lev2','');
pozadi('lev3','');this.style.background='';">
            nejvyšší
          </span></li>
      </ul>
    </div>
  </div>
  <div>
    <h1> Příklad skrývání materiálu </h1>
    <p>
      Level 1 <br />
      <span class="lev2">Level 2 <br /></span>
      <span class="lev3">Level 3 <br /></span>
    </p>
  </div>
</body>
</html>
```

11.3.2 CSS – main.css

```
BODY, HTML {

    font-family: geneva, verdana, arial, sans-serif;
    font-size: 1em;
    line-height: 1.5em;

    border: 0px none;
    margin: 0px;
    padding: 1em;
}

.odk {
    cursor: pointer;
    cursor: hand;
}

.odk_12 {
    color: black;
    text-decoration: none;
}

.odk_12:hover {
    background:#ccff99;
}

.odk_13:hover{
    background:#ffcccc;
}

.odk_13 {
    color: black;
    text-decoration: none;
}

.lev2 {
    display: inline;
}

.lev3 {
    display: inline;
}

#levelmenu {
    position:fixed;
    _position:absolute;
    top: 5px;
    _top:expression(eval(document.body.scrollTop+5));
    font-size: 0.8em;
    line-height: 1em;
    right: 30px;
    float: left;
    padding: 0.5em;
    border: 1px dotted rgb(0,0,102);
    background: rgb(204,204,255);
}
```

11.3.3 Java Script – levelsk.js

```
function init(){
    zobrazSkryj('lev2');zobrazSkryj('lev3');
}

function zobrazSkryj(trida) {
    var allPageTags=document.getElementsByTagName("*");
    for (i=0; i<allPageTags.length; i++) {
        if (allPageTags[i].className==trida) {
            allPageTags[i].style.display=(allPageTags[i].style.display == 'none')?'inline':'none';
        }
    }
}

function zavisleZobrazeni(vedouci, zavisla, podminka) {
    display='none';
    var allPageTags3=document.getElementsByTagName("*");
    for (i=0; i<allPageTags3.length; i++) {
        if (allPageTags3[i].className==vedouci && allPageTags3[i].style.display != 'none') {
            display='inline';}
        if (podminka=='') {podminka=display;}
        if (display==podminka){
            for (i=0; i<allPageTags3.length; i++) {
                if (allPageTags3[i].className==zavisla ) {
                    allPageTags3[i].style.display=display;
                }
            }
        }
    }
}

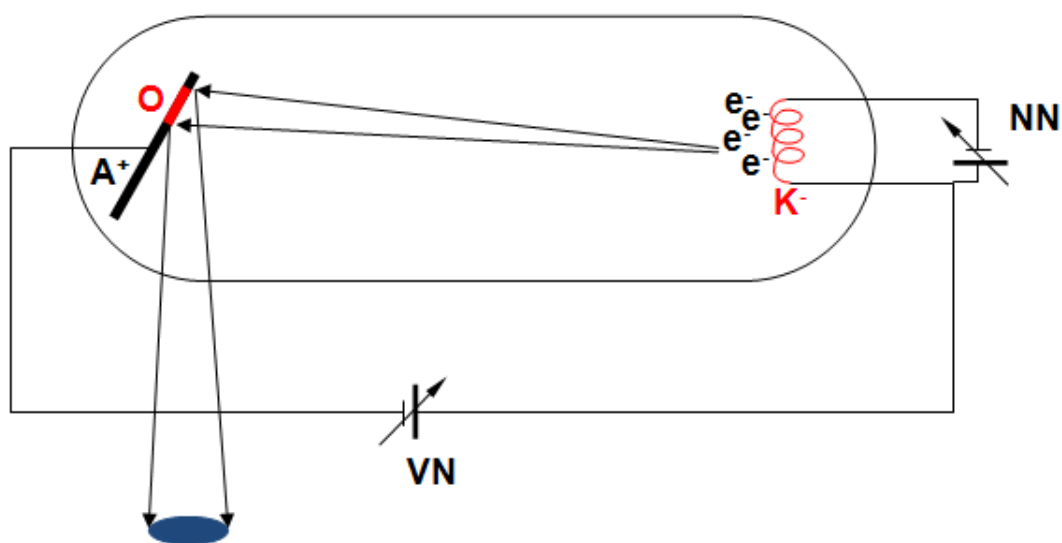
function pozadi(trida, pozadi) {
    //Populate the array with all the page tags
    var allPageTags2=document.getElementsByTagName("*");
    //Cycle through the tags using a for loop
    for (i=0; i<allPageTags2.length; i++) {
        //Pick out the tags with our class name
        if (allPageTags2[i].className==trida) {
            //Manipulate this in whatever way you want
            allPageTags2[i].style.background=pozadi;
        }
    }
}
```

11.4 Fragmentovaný podkladový materiál kurzu CT

CT (výpočetní tomografie) – teorie

Fyzikální principy:

Nejprve je nutné si uvědomit, na jakém fyzikálním principu celý systém funguje. Co je podstatou výpočetní tomografie? V podstatě se tvoří obraz řezu pacientem, za účelem následného diagnostického vyhodnocení. Je tedy potřeba „vidět skrz pacienta“. Obrazová informace se v principu získává stejným způsobem jako v případě klasického rentgenu. Pacient se prostě prosvěcuje rentgenovým zářením tvořeným rentgenovou trubicí neboli rentgenkou. Jedná se v podstatě o vakuovanou trubici, ve které se nachází elektrickým proudem žhavená katoda, ze které jsou termoemisi uvolňovány elektrony do prostoru těsně kolem povrchu katody. Tyto „volné“ elektrony jsou následně přitahovány k anodě silným elektrickým polem, tvořeným vysokým napětím mezi katodou (-) a anodou (+). Vakuum se tedy nachází v rentgence proto, aby zde nebyly částice, jež by kladly odpor prolétávajícím elektronům a jakkoli je brzdili, nebo měnili směr jejich letu.



Na obrázku je schéma rentgenky, kde:

- O** ...oblast anody, do které dopadají přitahované a urychlené elektrony. Z ní se pak odvozují jednotlivá ohniska rentgenky.
- A+** ...rotující anoda. (rotuje kvůli chlazení)
- K-** ...proudem žhavená katoda
- e-** ...„volné“ elektrony
- NN** ...nízkonapěťový (cca jednotky voltů) regulovatelný zdroj proudu pro žhavení katody z důvodů termoemise elektronů
- ...vysokonapěťový (cca desítky kV) regulovatelný zdroj vytvářející
- VN** silné elektrické pole mezi katodou a anodou urychlující „volné“ elektrony.

Princip vzniku záření je následující. Nízkonapěťovým zdrojem proudu rozžháváme katodu rentgenky a termoemisí se budou udržovat v nejbližším okolí povrchu katody „volné“ elektrony. Regulací tohoto zdroje měníme nízké napětí – potažmo proud, procházející katodou (většinou wolframové vlákno), čímž ovlivňujeme míru jejího nažhavení a tedy počet „volných“ elektronů. To nám ve výsledku ovlivňuje především intenzitu záření rentgenky. Následně připojíme vysoké napětí řádu desítek kV, jímž urychlujeme elektrony a přitahujeme je k anodě. Míru urychlení elektronu a tedy výslednou rychlost elektronu při dopadu na anodu ovlivňujeme regulací – mírou elektrického pole – zdroje vysokého napětí. Kinetická energie, kterou elektron získá, je v ideálním případě rovna elektrické (potenciální) energii vysokonapěťového el. pole. Matematicky to můžeme vyjádřit následovně:

R*1

$$E_{el} = E_{kin}$$
$$eU = \frac{1}{2} m_e v_e^2$$

Následně však při dopadu elektronu do anody je elektrickými silami uvnitř materiálu anody (především přitažlivými kladně nabitými jádry atomů materiálu anody) zbrzděn. A jelikož se jedná o elektron, je ztráta jeho kinetické energie „přeměněna“ = projeví se v jiných formách – především zahřátí anody. Dále je vyzářena ve formě charakteristického záření (diskrétní vlnová spektra) + také, což je nejdůležitější, ve formě

BRZDNÉHO záření (spojité vlnové spektrum) = rentgenové záření. V ideálním případě se elektron v anodě úplně zbrzdí a všechna kinetická energie elektronu se vyzáří ve formě jednoho fotonu brzdného záření. Energie takového fotonu pak bude rovna kinetické energii elektronu a ta zase potenciální energii elektrického pole. Neboli

R*2

$$E_{el} = E_{kin} = E_{foton}$$

$$eU = \frac{1}{2} m_e v_e^2 = h\nu$$

tudíž

$$eU = h\nu$$

$$eU = h \frac{c}{\lambda}$$

výsledně pak

R*3

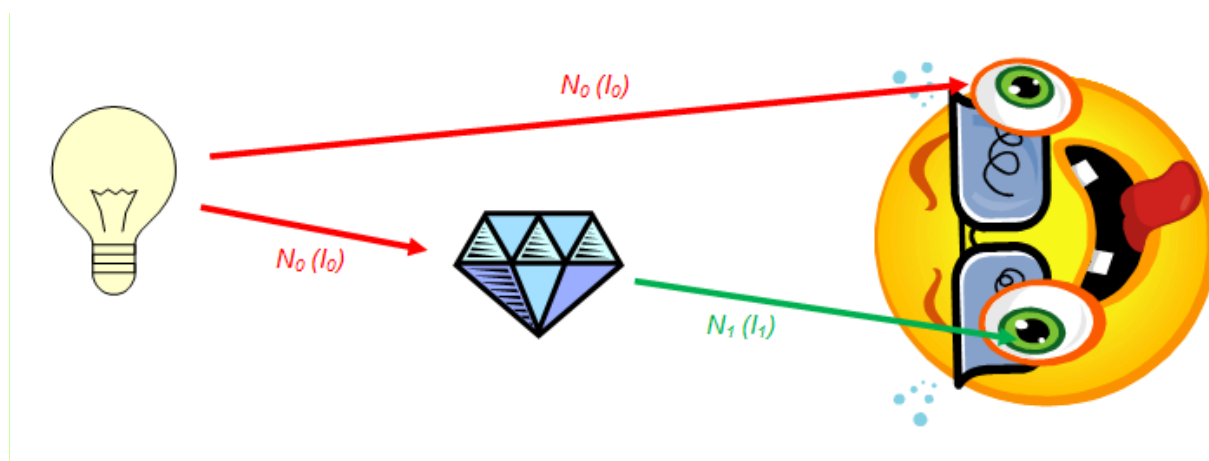
$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eU}$$

Vzorec **R*3** je výsledný vztah určující závislost mezi nejkratší možnou vlnovou délkou rentgenového spektra λ_{min} a hodnotou vysokého napětí **VN** zdroje mezi katodou a anodou rentgenové trubice. Dále **h** je Planckova konstanta, **c** je rychlost světla a **e** je elementární náboj.

Jak je známo, rentgenové záření není nic jiného než fotonové a tedy elektromagnetické záření. Je možné zjednodušeně usoudit, že obecně při prosvěcování objektů elektromagnetickým zářením se bude tento jev řídit stejnými pravidly a bude popsán stejnými fyzikálními vztahy. A jelikož obecně je elektromagnetickým zářením kromě výše zmíněného rentgenova záření také infračervené záření, radiové vlny, UV záření, gama záření a především také světlo, lze toho využít a popsat si princip zjišťování vlastností objektů prosvěcování viditelným zářením a pak tento princip včetně obecně platných vztahů přenést i do jiných frekvencí resp. vlnových délek celého spektra elektromagnetického záření. To nám umožní lépe pochopit princip fungování rentgenu, potažmo CT.

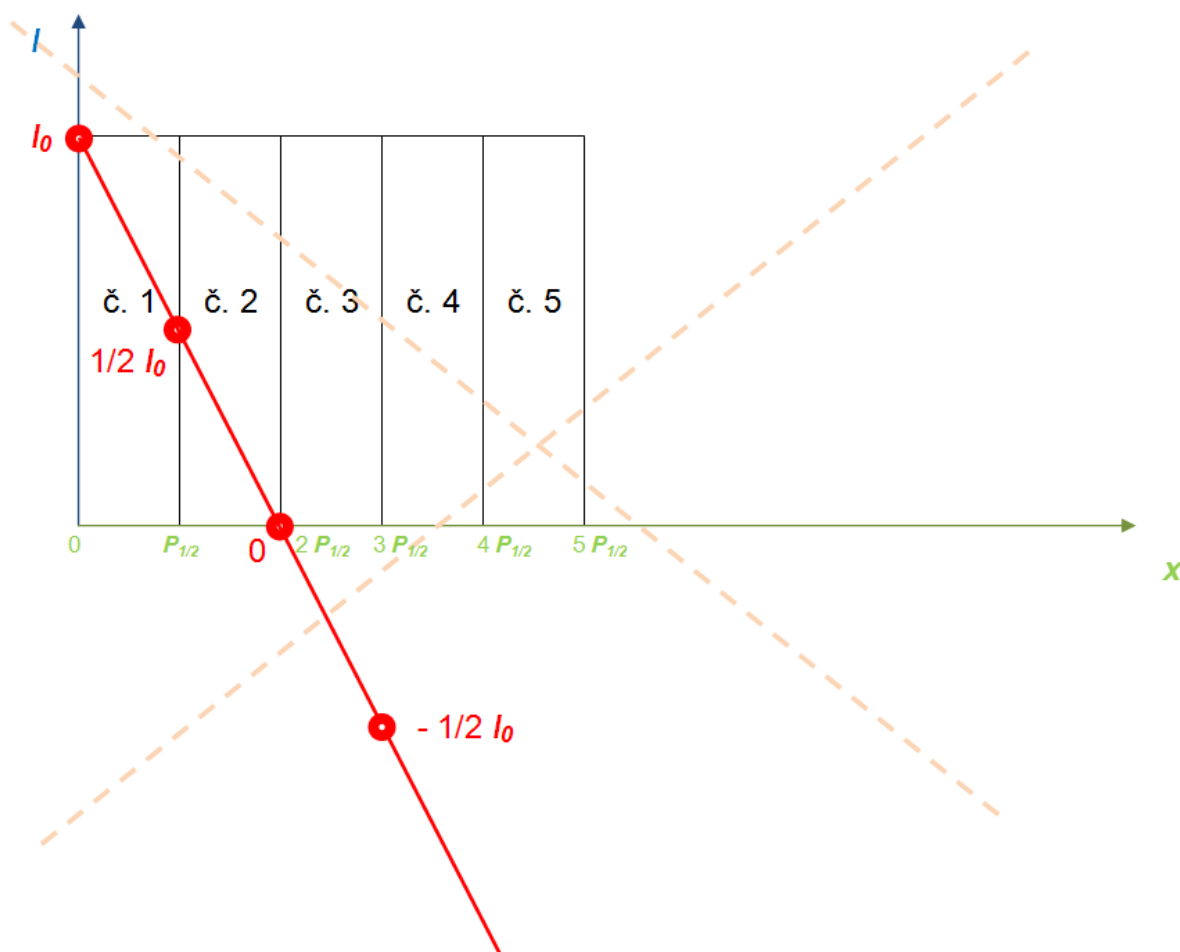
Prozařování materiálu viditelným světlem – fyzikální princip

Nyní je třeba se zajímat, jaké jsou pro nás důležité vlastnosti materiálu při jeho pozorování po průchodu světla. Je vhodné provést myšlený experiment, který by mohl být reálnou situací. Např. si lze představit, že jdeme kolem řeky a je krásný slunečný den. Ve vodě uvidíme nádherný čirý křišťálový kamínek. Vezmeme jej do ruky a instinktivně jej zvedneme a díváme se skrze něj proti slunci a pozorujeme, jak je krásně čirý. Zajímá nás tedy jeho průhlednost, která nám napoví, jaké jsou v něm vady, příměsi a nečistoty. Proč jsme jej při tomto pozorování instinktivně nastavovali proti slunci? Jednoduše by se dalo říct, že systém našeho oka včetně příslušné inervace a řízení v CNS je poměrně chytrý. Tím, že se díváme skrz kamínek proti zdroji světla, pozorujeme nejen světlo procházející kamínkem, ale také příslušný světelný zdroj. (Při tom naše duhovka se snaží jednak optimalizovat osvětlení sítnice a také zabránit poškození sítnice jejím přílišným osvětlením.) Nejdůležitější však je právě zmíněné současné pozorování světla přímo ze zdroje a světla procházejícího kamínkem. Díky tomu můžeme porovnat rozdíly v jasu (světlosti), vygraduje nám kontrast mezi přímým a procházejícím světlem. Díky tomu jasně víme, jak moc kamínek pohlcuje světlo, tedy jak moc je průhledný! Neboli, díváme-li se ven skrz „domnělé“ okno, nikdy nemůžeme vědět, zda to, že nevidíme skrze „okno“ („vidíme tmu“) je způsobeno tím, že je venku tma nebo tím, že je okno prostě neprůhledné (natřené na černo, má protiprůhledovou folii, ...) aniž bychom věděli, zda je venku slunečný den nebo tmavá noc. Nyní si experiment nakreslíme a lépe rozebereme.

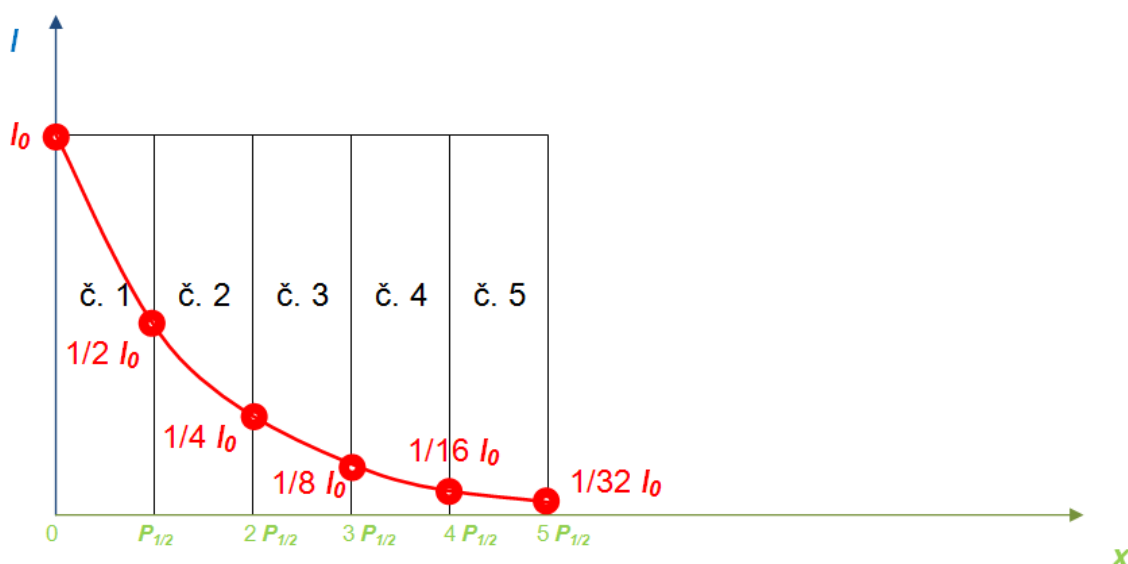


Zde N_0 značí **počet fotonů** prošlých jednotkovou plochou za jednotku času ze **zdroje**, resp. I_0 je **intenzita záření zdroje**. N_1 pak značí **počet fotonů prošlých objektem** (kamínkem) dopadlých na jednotkovou plochu detektoru za jednotku času, resp. I_1 je **intenzita záření prošlá objektem** (kamínkem).

Abychom zjistili, jak to vypadá s průběhem intenzity záření, v závislosti na vzdálenosti od zdroje záření, uvnitř sledovaného objektu, je třeba **opět** provést myšlený experiment. Představme si, že máme objekt, např. nějakou desku, právě takové tloušťky, která pohltí přesně $1/2$ všech fotonů procházejících touto deskou. Taková tloušťka se pak nazývá **polovrstva $P_{1/2}$** . To znamená, že po průchodu záření touto deskou dojde k **zeslabení intenzity záření na $1/2$ z původní hodnoty**. Jak to ale bude vypadat v případě, kdy postavíme za sebe např. pět takových desek? Kdybychom předpokládali "nejjednodušší" matematický vztah – lineární pokles intenzity záření uvnitř objektu v závislosti na vzdálenosti od zdroje vypadala by situace jako na následujícím obrázku.



Znamenalo by to tedy, že **po průchodu třemi polovrstvami** materiálu bychom měli **mínus 1/2** původního záření („mínus fotony?“, „mínus světlo?“), což je fyzikálně **nesmysl**! Ve skutečnosti si částice (např. atomy) vzájemně nepředávají žádnou informaci o tom, jak a s kým interagovali. Tudíž každá vrstva atomů dané látky absorbuje specifické procento záření, které do této vrstvy vstupuje, nezávisle na předchozích a následných vrstvách. Množství absorbovaného záření pak závisí na povaze atomů dané látky a příslušném záření. Tedy bez ohledu na to, zda záření již před vstupem do této vrstvy s něčím interagovalo nebo ne. **Tudíž každá polovrstva absorbuje polovinu záření do ní přímo vstupujícího.** Reálná situace tedy bude vypadat jako na následujícím obrázku.



Na obrázku je vidět, že první polovrstva pohltí jednu polovinu záření do ní vstupujícího, tedy po průchodu zbude $1/2 I_0$. To je pak intenzita přímo vstupující do druhé polovrstvy a ta z ní pohltí jednu polovinu. Po průchodu záření druhou polovrstvou tedy zbude $1/2$ z $1/2 I_0$, to je $1/4 I_0$. Po další polovrstvě pak zbude $1/8 I_0$ a tak dále, až po průchodu záření pátou polovrstvou zbude $1/32 I_0$, to je 3,125 % I_0 . Těmito body můžeme proložit křivku závislosti intenzity záření na vzdálenosti od zdroje. Matematická funkce, která takovouto křivku popisuje, je funkcí exponenciální. Obecně ji lze zapsat jako:

$$y = A \frac{1}{e^{Bx}} + C$$

přičemž

$$\frac{1}{e^{Bx}} = e^{-Bx}$$

a pro náš případ, nahrazením proměnných konkrétními fyzikálními veličinami,

R*4

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

Z tohoto matematického výrazu a z předchozího obrázku je jasné, že ať budeme přidávat desek, resp. zvětšovat tloušťku materiálu, jak chceme, **záření po průchodu vrstvou nebude nikdy nulové!** Pouze **v nekonečnu se bude blížit nule**. Tato informace má velký význam např. při ochraně před ionizujícím zářením.

Otázkou nyní zůstává, kam se v matematickém vztahu poděla dříve zmiňovaná polovrstva? Do výše uvedeného vztahu ji můžeme „vsadit“ jednoduchou úvahou. Víme, že pokud je tloušťka materiálu rovna přímo polovrstvě **$d = P_{1/2}$** , pak se průchozí intenzita záření sníží na polovinu vstupní intenzity, což vyplývá ze samotné definice polovrstvy. Toto můžeme snadno vyjádřit matematicky:

$$\frac{I_0}{2} = I_0 e^{-\mu P_{1/2}}$$

zlogaritmujeme

$$\ln \frac{1}{2} = -\mu P_{1/2}$$

a po úpravě

R1**

$$P_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

a

$$\mu = \frac{\ln 2}{P_{1/2}}$$

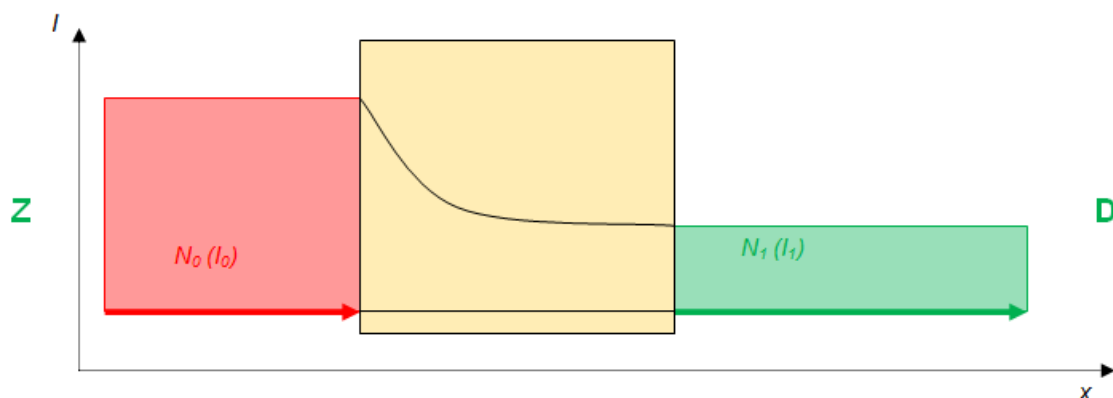
Dosadíme-li poslední vztah do nám známé rovnice **R*4** vychází

$$I = I_0 e^{-\frac{\ln 2}{P_{1/2}} d}$$

To je poněkud kostrbatý vztah. Lze jej upravit následovně

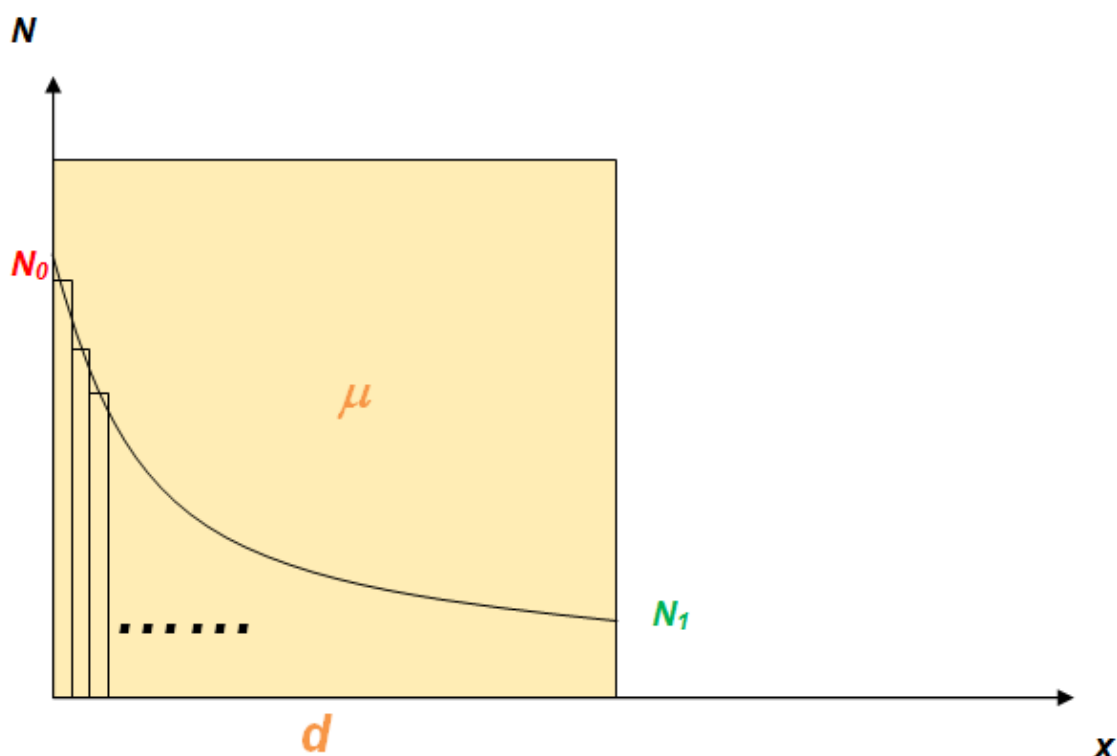
$$I = I_0 2^{-\frac{d}{P_{1/2}}}$$

Logaritmus o základu 2 však není příliš obvyklý a na běžných kalkulátorech ani v běžných počítačových programech se nenachází. Proto je tento vztah z praktického hlediska nevhodný a počítá se tedy spíše s lineárními absorpčními koeficienty a při přepočtech na polovrstvu se užívá vztahu **R**1**.



Z obrázku je vidět průběh intenzity záření I v závislosti na vzdálenosti x od zdroje Z . Je-li v okolí objektu (kamínku) vakuum nebo vzduch, lze říci, že se v tomto prostoru záření nepohlcuje (nebo jen zanedbatelně). Není k tomu totiž žádný fyzikální důvod, jelikož dokonalé vakuum z principu neobsahuje nic, co by mohlo jakkoli pohlcovat či ovlivňovat průchod záření tímto prostorem. U vzduchu je přítomnost částic, které by mohly interagovat se zářením a tak jej např. pohlcovat, velmi řídká a lze tedy jakoukoli absorpci rentgenového nebo gama záření o vlnových délkách běžně užívaných k radiodiagnostice či radioterapii zanedbat. (U jiných vlnových délek elektromagnetického záření je situace v případě vzduchu dosti složitá a velice závisí na konkrétní vlnové délce příslušného záření. V původně spojitém spektru elektromagnetického záření, které prošlo atmosférou, tak vznikají tzv. absorpční pásy.)

Nejdůležitější je pro nás situace uvnitř zkoumaného objektu.



Na obrázku je **d tloušťka objektu** ve směru průchodu záření a **μ** je materiálová konstanta objektu charakterizující vlastnost materiálu ve vztahu k interakci s elektromagnetickým zářením. Charakterizuje schopnost tělesa absorbovat dané elektromagnetické záření a nazývá se také **lineární absorpční koeficient** (lineární koeficient zeslabení). μ je

také velmi závislý na frekvenci příslušného elektromagnetického záření a lze tedy psát:

$$\mu = f(\nu)$$

- kde ν je frekvence příslušného elektromagnetického záření

Z obrázku si již lze situaci snadno rozebrat. Celý průběh si rozdělíme na velmi tenké nudličky. U každé nudličky můžeme předpokládat přibližně lineární pokles a přímou závislost úbytku počtu fotonů dN na počtu částic vstupujících do této vrstvičky N_i při průchodu tenkou vrstvičkou o tloušťce dx a vlastnostech jejího materiálu, resp. její míře neprůhlednosti charakterizované lineárním absorpčním koeficientem μ . (Zde malá d u dx a dN neznačí tloušťku, ale „derivaci“ jednotlivých veličin – velmi malou část této veličiny). Tato věta by šla matematicky zapsat následovně:

$$dN = -N_i \mu dx$$

- kde N je počet fotonů vstupujících, N_i počet vystupujících a d je tloušťka vrstvy

$$\frac{dN}{N_i} = -\mu dx$$

Celý průběh získáme integrací – sečtením ploch jednotlivých nudliček po celé tloušťce objektu

$$\int \frac{dN}{N_i} = - \int_0^d \mu dx$$

a po integraci dostáváme

$$\ln(N_i) + C = -\mu d$$

- kde C je integrační konstanta, kterou snadno určíme z počáteční podmínky, tedy že před vstupem záření do objektu, tedy při nulové

tloušťce $\mathbf{d} = \mathbf{0}$, je počet fotonů roven počtu fotonů vyšlých ze zdroje záření (přímo vstupujících do objektu) $\mathbf{N}_i = \mathbf{N}_0$ a po dosazení

$$\ln(N_i) + C = -\mu d$$

$$C = -\ln(N_0)$$

Dosazením vypočtené integrační konstanty dále dostaneme

$$\ln(N_i) - \ln(N_0) = -\mu d$$

R2**

$$\ln\left(\frac{N_i}{N_0}\right) = -\mu d$$

a po umocnění

$$\frac{N_i}{N_0} = e^{-\mu d}$$

R*5

$$N_i = N_0 e^{-\mu d}$$

Jelikož lze snadno definovat vztah mezi intenzitou záření \mathbf{I} a počtem částic tohoto záření \mathbf{N} dopadajících na definovanou plochu \mathbf{S} za definovaný čas \mathbf{t} ,

$$I = N \frac{h\nu}{St}$$

a tedy

$$N = I \frac{St}{h\nu}$$

můžeme jej dosadit do rovnice **R*5**.

$$I_i \frac{St}{h\nu} = I_0 \frac{St}{h\nu} e^{-\mu d}$$

A jelikož je člen **St/hv** pro tuto rovnici konstantní – v průběhu měření se nemění, lze jej vykrátit – tedy z rovnice vynechat.

R*6

$$I_i = I_0 e^{-\mu d}$$

Rovnice **R*5** a **R*6** definují obecný vztah mezi dopadajícím a prošlým zářením definovaným objektem o tloušťce **d** a lineárním absorpčním koeficientem **μ**.

R*7

Při měření zjišťování vlastností materiálů je však nejvýhodnější vycházet již z rovnice **R**2** a po její úpravě

$$\mu = -\frac{1}{d} \ln\left(\frac{N_i}{N_0}\right) = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{N_0}{N_i}\right)$$

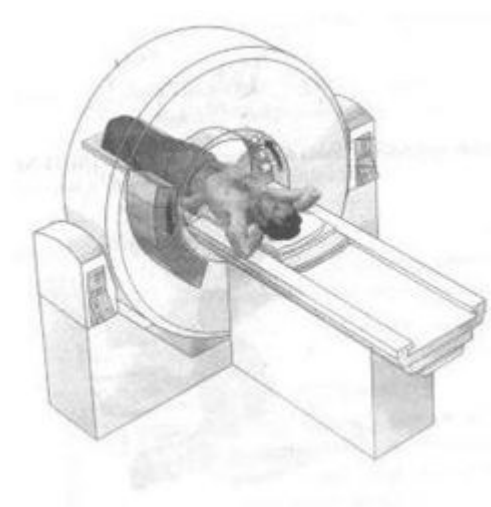
Rovnice **R*7** zde vyjadřuje asi **nejdůležitější vztah ve výpočetní tomografii** a to závislost lineárního absorpčního koeficientu na ostatních měřených nebo konstantních a známých parametrech.

Princip fungování přístroje CT

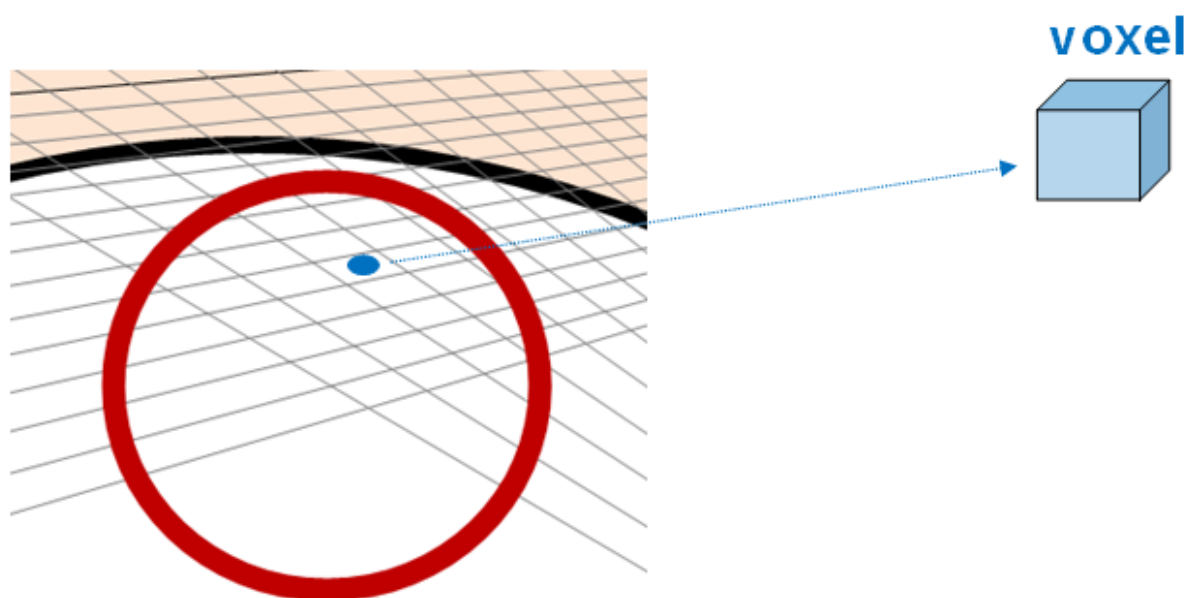
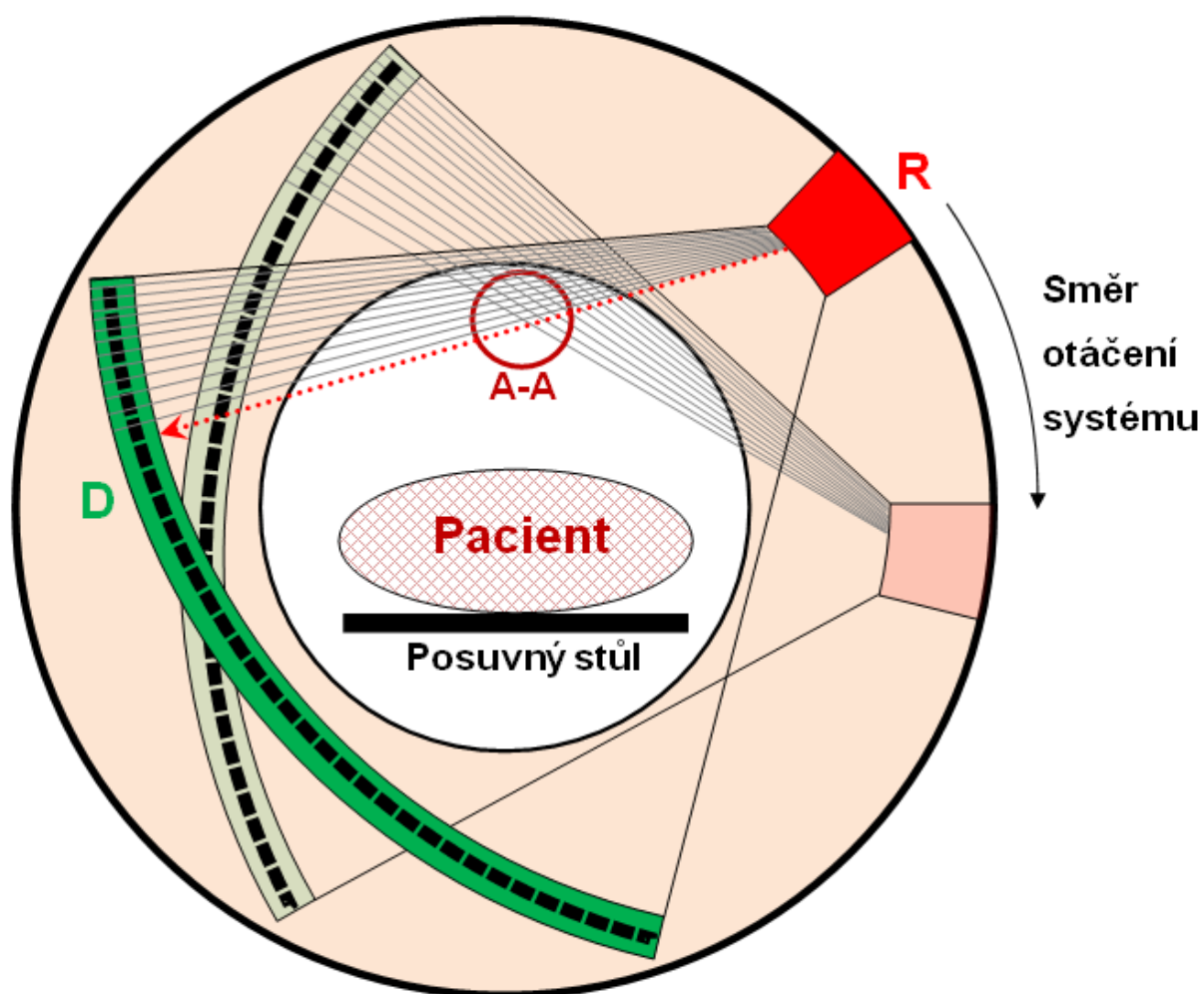
V dnešní době je výpočetní tomografie poměrně rozvinutou metodou a existuje již několikátá generace velmi moderních přístrojů. Příkladem může být 64 kanálové CT firmy Phillips.



Skenování pacienta lze v průhledu znázornit na následujícím obrázku.



Na následujícím obrázku je schematicky znázorněn možný způsob skenování – **princip tvorby řezu**.



Výřez prostoru **A-A** s naznačením teoretického „nakrájení“ prostoru na jednotlivé voxely.

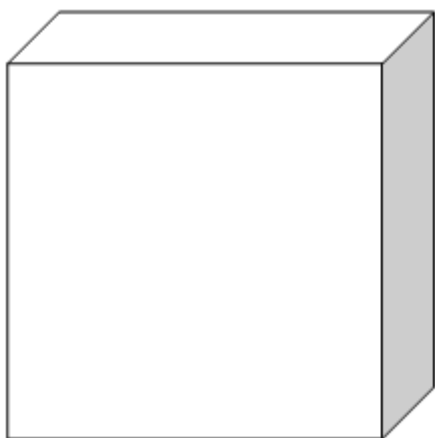
Na obrázku **R** značí rentgenku; **D** sadu detektorů; **A-A** je teoretický výřez prostoru ve zvětšení s naznačeným „nakrájením“ prostoru na jednotlivé voxely. CT skenuje tak, že:

1. Nejprve z první pozice rentgenka **R** prozáří pacienta a jednotlivé detektory v sadě detektorů **D** zjistí intenzitu záření prošlou prostorem v jednotlivých úzkých paprscích v přímém směru od rentgenky k příslušnému detektoru **D_i**. Lidově řečeno, každý detektor zjistí prošlou intenzitu záření jen v tom směru, do kterého „se kouká“.
2. Poté se celý systém pootočí a proces skenování se zopakuje.

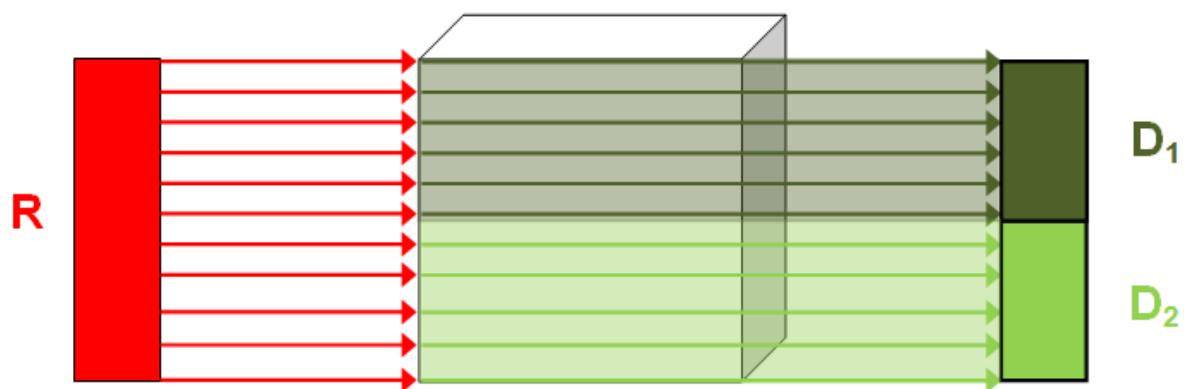
Tímto otáčením dojde k jakémusi myšlenému naporcování prostoru mezi rentgenkou a detektory na jednotlivé „kostičky“ **voxely** definovaných rozměrů, které lze odvodit z počtu jednotlivých otočení soustavy **R - D**, tloušťky jednotlivého detektoru, vzdálenosti mezi **D** a **R**, ...atd. Rozměry voxelů jsou tedy geometrickou záležitostí a jsou pro daný přístroj a počet otočení (průhledů) konstantou. Rozměry jednotlivých voxelů tedy **NEZÁVISÍ na rozměrech ani jiné povaze skenovaných objektů!** V principu musí být zjištěn takový počet průhledů, jaký je počet neznámých lineárních absorpčních koeficientů a tedy i příslušných voxelů.

Nyní se pokusíme velmi zjednodušeně odvodit postup zjišťování příslušných lineárních absorpčních koeficientů jednotlivých voxelů. Tyto lineární absorpční koeficienty resp. převedené na **CT čísla**, resp. převedené ve výsledný obrázek nám vypovídají o materiálové povaze „průhlednosti/neprůhlednosti“ jednotlivých voxelů. Zjednodušeně řečeno na fiktivním příkladu, má-li být obrázek v daném místě bílý (= „vysoký“ (CT ~ 1000) lineární absorpční koeficient), protože se zde má nacházet kost, a místo toho je šedý nebo černý (= „nízký“ (CT ~ (-1000; 0) lineární absorpční koeficient), znamená to např., že je kost zlomená a posunutá a v daném místě tedy chybí (nachází se tam např. krevní sraženina apod.) Na jednoduchém obrázku si na soustavě rentgenka a dva detektory znázorníme a poté matematicky odvodíme způsob zjištění jednotlivých absorpčních koeficientů a tvorbu výsledného CT obrazu.

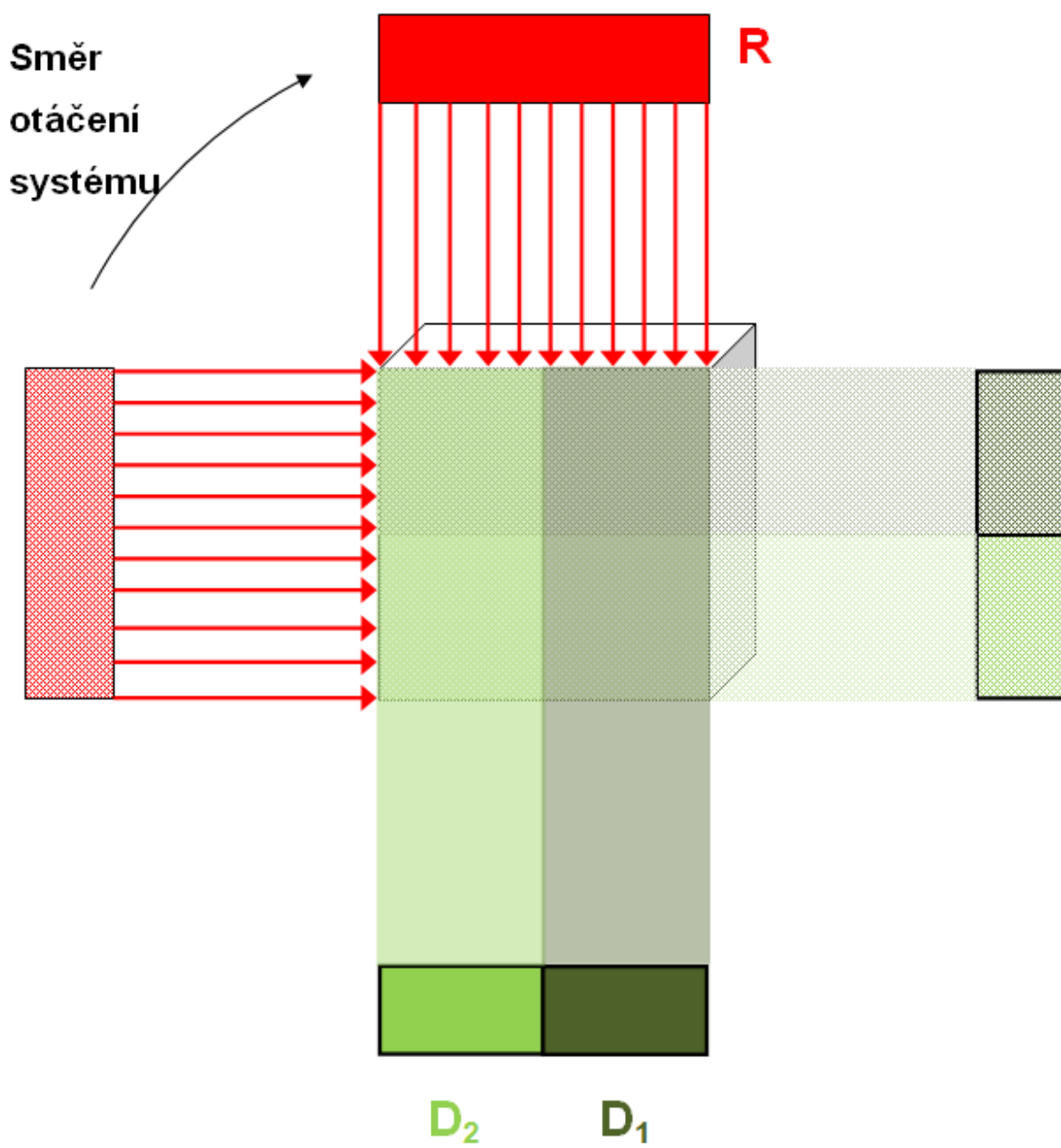
Samostatný objekt pro skenování



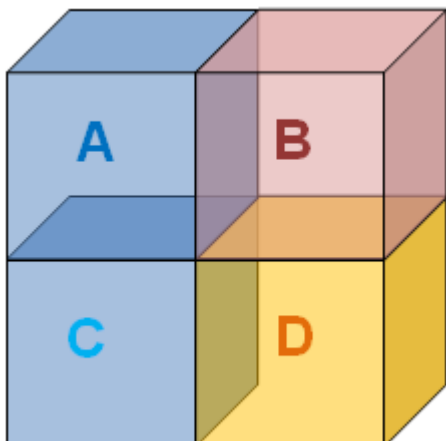
První pohled: Pomyslné rozpůlení objektu – každý detektor „vidí“ jen svou „polovinu“ objektu.



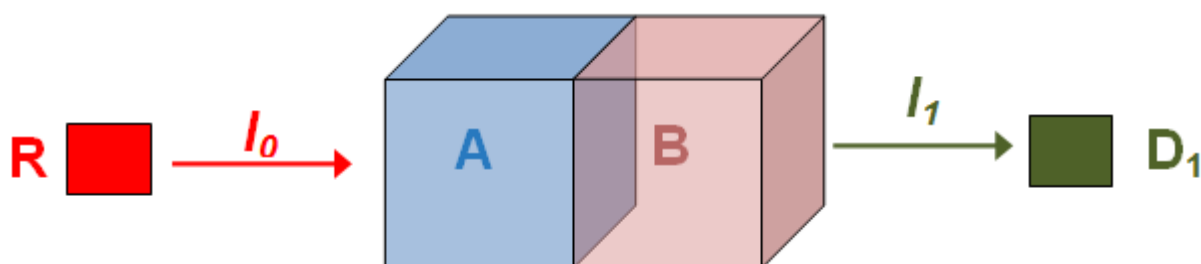
Druhý pohled: Pomyslné rozčtvrcení objektu.



Tímto jsme získali pomyslně rozdělený objekt na čtyři voxely, každý o definovaném rozměru – velikost strany **d**.



Na nejjednodušším případě – tedy kombinaci dvou voxelů si nyní odvodíme jednoduchý matematický vztah pro výpočet příslušných lineárních absorpčních koeficientů.



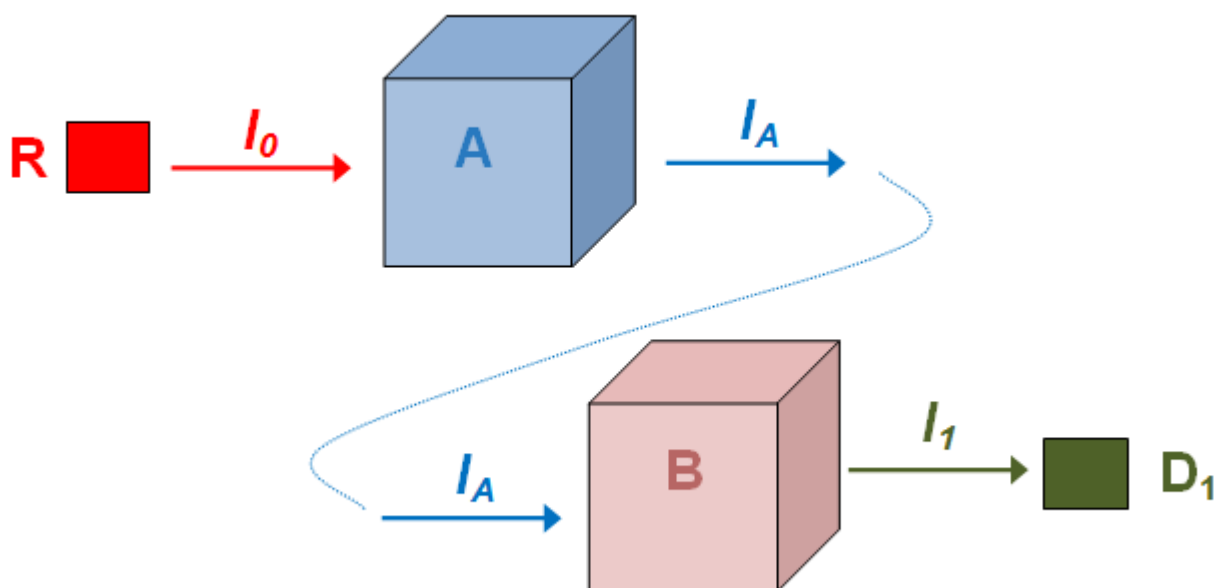
I_0 je **intenzita** záření **vydaná rentgenkou** a vstupující do objektu (resp. voxelu A) ve směru k detektoru **D_1** ; **I_1** je **intenzita prošlá** objektem ve směru a dopadající na detektor **D_1** . Tento proces lze popsat vztahem

R*8

$$I_1 = I_0 e^{-\gamma_1 x}$$

Ve vztahu **R*8** však není zřejmé jak přesně interpretovat veličiny **γ_1** , která je jakýmsi **absorpčním koeficientem** ve směru detekce záření a **x** , která je jakýmsi **geometrickým rozměrem** ve směru detekce záření. Tato situace je stále dost složitá. Umíme však s užitím již odvozeného vztahu **R*6** zjistit lineární absorpční koeficient pro jeden homogenní objekt definovaných rozměrů – což je v našem případě jeden voxel

(nezáleží, zda A, B, C, ...) . Rozdělíme si tedy náš příklad ještě na samostatné voxely.



Rentgenka **R** vyšle záření, které s intenzitou I_0 vstoupí do **voxelu A**. V něm je částečně pohlceno a zbylá intenzita I_A prošlá **voxelem A** vstoupí do **voxelu B** v němž je dále pohlcována až zbylá intenzita po průchodu oběma voxely I_1 opustí **voxel B** a vstoupí do detektoru **D1**, kde je následně zanalyzována.

Pro **voxel A** s užitím rovnice **R*6** pak platí:

R*9

$$I_A = I_0 e^{-\mu_A d}$$

Pro **voxel B** s užitím rovnice **R*6** pak platí:

R*10

$$I_1 = I_A e^{-\mu_B d}$$

Vzhledem k tomu, že voxely A, B, C, atd... jsou pouze myšlené části původního kompaktního objektu, **nelze** bez poškození skenovaného objektu **přímo měřit** intenzitu I_A . Všechny ostatní veličiny v obou rovnicích **R*9** i **R*10** jsou buď známé (**e**, **d**, I_0) nebo měřené (I_1)

nebo důležité vypočítávané (μ_A , μ_B), které jsou cílem našeho měření a charakterizují nám příslušné voxely. Je tedy nasnadě se nějak zbavit přebytečné veličiny I_A . To lze provést snadno **substitucí** vztahu **R*8** do vztahu **R*9**. Po úpravách obdržíme výsledný vztah:

$$I_1 = I_0 e^{-\mu_A d} e^{-\mu_B d}$$

$$I_1 = I_0 e^{-(\mu_A d + \mu_B d)}$$

R*11

$$I_1 = I_0 e^{-(\mu_A + \mu_B) d}$$

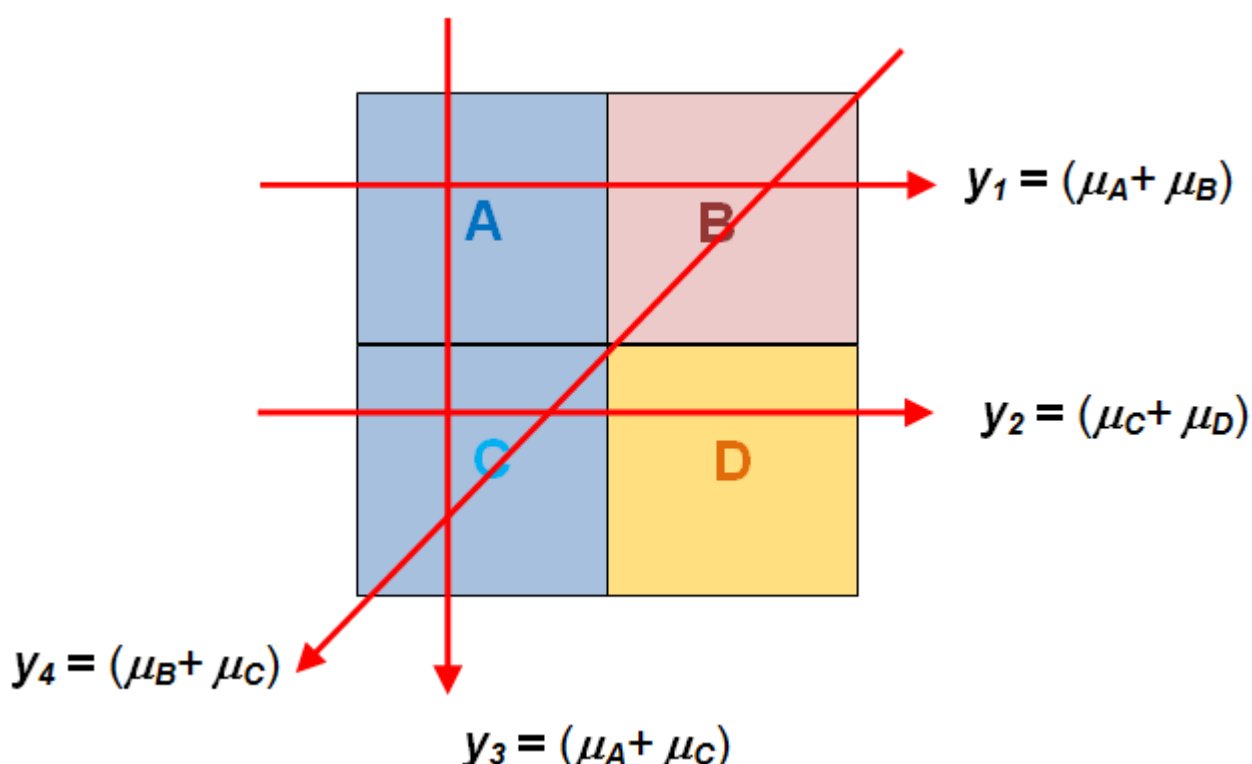
Nyní, porovnáním rovnic **R*8** a **R*11**, již můžeme snadno interpretovat význam veličin ze vztahu **R*8**, kdy:

x NENÍ tloušťkou celého objektu / pacienta ve směru detekce záření, ale **x = d** neboli rozměru jednoho voxelu ve směru detekce záření **a tehdy a jen tehdy**

$y_1 = (\mu_A + \mu_B + \dots)$ je součtem lineárních absorpčních koeficientů všech voxelů nacházejících se ve směru detekce záření **a nikoli skutečným lineárním absorpčním koeficientem** hmoty nacházející se v příslušném směru. To je však obrovskou výhodou. Jednak by jen stěží šlo měřit okamžitou tloušťku pacienta ve směru detekce záření i z důvodů pohybu tkáňových struktur a tudíž je výhodné všude dosazovat pro daný přístroj a způsob detekce konstantu **d** a za druhé nás nezajímá „jak skutečně viděla“ příslušná sonda ve směru detekce záření. Zde **y_1** tedy není skutečným lineárním absorpčním koeficientem, ale jakousi chytrou kombinací – přímo prostým součtem lineárních absorpčních koeficientů všech voxelů, které se díky soustavě nezávislých lineárních rovnic dají snadno dopočítat .

Výpočet CT můžeme přirovnat k luštění jakési obří křížovky. Pomůžeme si přirovnáním na barevných kostkách. Ve skutečnosti se ale v žádném případě nejedná o zjišťování barev. Jde o zjišťování intenzit záření a lineárních absorpčních koeficientů materiálu. Pro lepší názornost si však pomůžeme přirovnáním k barvám, protože princip je stejný. Máme k dispozici 4 barevné kostky. Díváme se skrze první dvě zakryté kostky a

vidíme zelenou barvu, přičemž **kostka_c** má „modrou“ a **kostka_D** „žlutou“ barvu. To však ještě nevíme, protože zelenou barvu můžeme složit mnoha způsoby (např. modrá+žlutá, zelená+průhledná, ...). My však chceme vědět přesně, jaké to byly kostky. Musíme se tedy podívat ještě z jiného směru. Například v kolmém směru se díváme skrze **kostku_A** („modrá“) a **kostku_C** („modrá“) a vidíme tmavě modrou barvu. A nyní, jako při luštění křížovky se snažíme přijít na to, jakou barvu má společné řešení obou průhledů – tedy **kostka_c**, abychom v jednom pohledu viděli zelenou a v druhém pohledu modrou barvu. No a prostou dedukcí nám vyjde, že by to mohla být právě modrá, jakožto jediné možné společné řešení.



Vrátíme-li se k našemu skenovanému objektu, který jsme si myšlenými řezy rozdělili na čtyři voxely, zjistíme, že máme celkem **soustavu (matici) čtyř neznámých materiálových konstant** – tedy lineárních absorpčních koeficientů a to pro každý voxel jeden. K **vyřešení** takovéto matice čtyř neznámých je třeba **soustava čtyř nezávislých lineárních rovnic**. **Nezávislost** je v našem příkladu **zajištěna** jiným směrem detekce **y_4** , jak je naznačeno na obrázku. Jinak by totiž mohlo dojít k cyklické závislosti a soustava rovnic by neměla jednoznačné řešení (každý si to může vyzkoušet sám při směru měření, kdy $y_4 = (\mu_B + \mu_D)$ -> soustava nemá řešení). Na obrázku jednotlivá **y_i** vypočítáme snadno, kdy

v rovnici **R*4**. dosadíme známou **I₀**, detegovanou **I_i** a **x = d**. Soustavu rovnic na obrázku vyřešíme z již známých **y_i** snadno substitucí jednotlivých proměnných **μ_i**. Tak obdržíme příslušné lineární absorpční koeficienty pro jednotlivé voxely.

Nyní zbývá jen určit příslušná **CT čísla** pro jednotlivé voxely a vytvořit obrázek = přiřadit odstíny (nebo barvy) jednotlivým voxelům dle jejich CT čísel (resp. lineárních absorpčních koeficientů) a zakreslit je přímo na skutečné pozice jednotlivých voxelů v CT řezu. **CT čísla** obdržíme snadno dle definovaného vztahu:

R*12

$$CT_i = \frac{\mu_i - \mu_v}{\mu_v} 1000$$

- kde **CT_i** je CT číslo a **μ_i** je lineární absorpční koeficient příslušného i-tého voxelu a **μ_v** je lineární absorpční koeficient vody pro použitý typ záření.

Použití CT čísla má v medicíně oproti lineárnímu absorpčnímu koeficientu tu výhodu, že je bezrozměrné, tudíž číselně vždy stejné pro přesně daný typ materiálu a navíc je jaksi „nivelizováno“ vůči vodě – což je procentuálně nejvíce zastoupená látka v lidském organismu, zvláště pak v měkkých tkáních. Navíc se takováto **CT čísla v lidském organismu pohybují přibližně od -1000 do 1000**. A jelikož

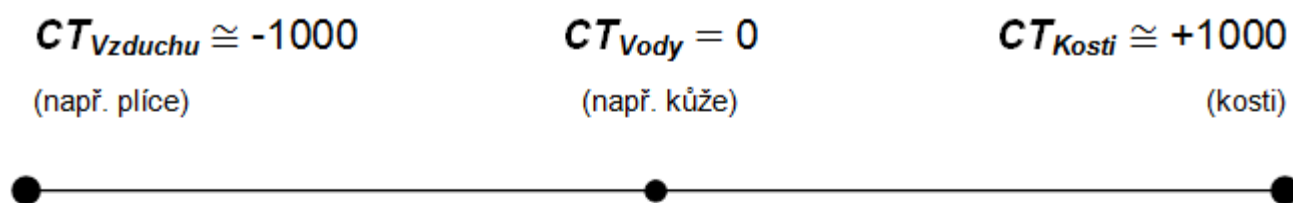
$$\mu_{Vzduchu} \cong 0 \quad \Rightarrow \quad CT_{Vzduchu} \cong -1000$$

$$\mu_{Vody} \cong \mu_v \quad \Rightarrow \quad CT_{Vody} = 0$$

$$\mu_{Kosti} \cong 2\mu_v \quad \Rightarrow \quad CT_{Kosti} \cong +1000$$

Následně probíhá přiřazování odstínů (nebo barev) jednotlivým CT číslem. V případě odstínů stupnice šedé barvy je nutno vzít v úvahu fakt, že byt' je oko schopno vnímat obrovské množství odstínů šedi, není schopno od sebe bezpečně rozeznat dva sousední odstíny v kroku menším, než cca

1/20 plného rozsahu stupnice šedé (tj. bílá až černá). Proto je třeba přiřazovat odstíny v tzv. **CT oknech**.



Plný rozsah



CT okno (kost)



Na obrázku je zřejmé že plný rozsah je pro zobrazení detailů příliš hrubý. A i když je rozsah na obrázku rozdělen pouze do deseti odstínů je vidět, že rozeznání dvou sousedních odstínů není vždy jednoduché. Pro příklad je na dalším obrázku srovnání dvou sousedních odstínů v kroku 1/50 stupnice šedi (levý obdélník je tmavší).



Proto v případě, že např. zkoumáme nějaký defekt kostní tkáně, nastavíme tzv. **CT okno pouze do CT oblasti příslušné tkáně** a můžeme tak pozorovat např. jemnou strukturu a trámčinu kosti. Zbytek tkání je v našem případě na obrázku černý, což nám pro dané zkoumání vůbec nevadí.

Nakonec je vhodné si také rozebrat **rozměrové jednotky jednotlivých fyzikálních veličin**.

- Počet částic záření **N** je číslo bezrozměrné.

- Intenzita záření **I**, resp. intenzita obecně, je, jak vyplývá z již dříve zmíněného vztahu

$$I = N \frac{h\nu}{St}$$

výkon dopadající kolmo na jednotkovou plochu tedy

$$[I] = \frac{W}{m^2}$$

- Lineární absorpční koeficient **μ** musí mít takový rozměr, aby rovnice

$$I_i = I_0 e^{-\mu d}$$

platila také pro jednotky příslušných veličin a tedy

$$\frac{W}{m^2} = \frac{W}{m^2} e^{-\mu m}$$

z čehož vyplývá, že exponenciála musí být bezrozměrná

$$1 = [e^{-\mu m}]$$

a jelikož **e** je bezrozměrné, i exponent musí být bezrozměrný.

$$1 = [\mu m]$$

Výsledně docházíme k jednotce lineárního absorpčního koeficientu

$$[\mu] = m^{-1}$$

- Nakonec rozměr **CT** čísla vyplývá ze vztahu

$$CT_i = \frac{\mu_i - \mu_v}{\mu_v} 1000$$

a jelikož rozměry jednotlivých **μ** figurujících v této rovnici se vykrátí, je **CT** číslo bezrozměrné.

Principem CT přístroje je, že všechna skenovaná data uchovává ve formě čísel. Neboli není se třeba bát vybrat nějaké CT okno, neboť výsledné **zobrazení obrázku na monitoru CT přístroje je pouhým vnitřním výpočtem v počítači** a měřená data to nijak neovlivní. CT okno můžete kdykoli změnit, zrušit, vybrat mu nějakou barvu, obrátit postup odstínů od bílé (plíce) po černou (kost) atd. atd. ...

V předchozích odstavcích jsme si ozřejmili fyzikální princip funkce přístroje CT, což jistě pomůže v praxi, abychom věděli, co si můžeme „dovolit“, co můžeme od tohoto přístroje očekávat.

11.5 Fragmentovaný podkladový materiál kurzu Ultrazvuku

Fyzikální vlastnosti ultrazvuku

Ultrazvuk je mechanické vlnění, jehož frekvence je vyšší než horní hranice rozsahu frekvencí vnímaných zdravým lidským uchem (16 – 20000 Hz).

Energie ultrazvuku se prostředím šíří ve formě vlnění, které může být podélné či příčné v závislosti na tom, jakým způsobem je ultrazvuk generován a zda částice prostředí jsou schopny kmitat kolem své rovnovážné polohy kolmo či paralelně vzhledem ke směru šíření vlny. Podélné vlnění se šíří ve všech skupenstvích, příčné pouze na povrchu kapalin a v pevných látkách. V medicínských aplikacích se využívá vlnění podélné, nejčastěji o frekvencích řádově 10^6 - 10^7 Hz. Ultrazvukové vlnění v daném prostředí je jednoznačně popsáno frekvencí f , vlnovou délkou λ a rychlostí šíření c , které jsou svázány vztahem:

R*1

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Rychlost šíření ultrazvuku v biologické tkáni (obecně v pevných látkách a kapalinách) závisí na vlastnostech prostředí, a to na jeho elasticitě K a hustotě ρ dle vztahu:

R*2

$$c = \sqrt{K \cdot \rho}$$

Rychlost šíření ultrazvuku v měkkých tkáních, které jsou zejména předmětem ultrazvukového zobrazování, se pohybuje kolem hodnoty 1500 m/s, což je rychlost šíření ultrazvuku ve vodě. Ultrazvukové vlnění se daným prostředím nešíří bezetrátově, nýbrž dochází k interakcím, které jsou buď žádoucí a jsou v různých ultrazvukových diagnostických a terapeutických metodách využívány, nebo jsou z hlediska těchto metod nežádoucí a je třeba je eliminovat. Ultrazvukové vlnění se odráží, ohýbá či láme na rozhraní dvou prostředí, která se liší svojí akustickou impedancí Z , která je dána součinem rychlosti šíření c a hustoty ρ daného prostředí,

tj. $Z = c \cdot \rho$. Některé hodnoty akustické impedance Z a rychlosti ultrazvuku c pro vybrané tkáně jsou uvedeny v tabulce:

Tkáň	Akustická impedance $Z [10^6 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}]$	Rychlost $c [\text{m/s}]$
Krev	1,62	1580
Kost	3,75-7,38	3360
Mozek	1,55-1,66	1538
Játra	1,64	1570
Sval	1,65-1,74	1568
Voda	1,5	1500
Vzduch	0,0004	340

Na rozhraní dvou prostředí o impedancích Z_1 před a Z_2 za rozhraním lze poměr intenzit R odražené ku dopadající ultrazvukové vlně vypočítat podle vztahu:

R*3

$$R = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \right)^2$$

a obdobně pro poměr intenzit T procházející ku dopadající ultrazvukové vlně na tomto rozhraní platí: **$T = 1 - R$**

Ze vztahu [R*3](#) vyplývá:

- $R=0$ jestliže $Z_1=Z_2$ (prostředí je homogenní, k odrazům nedochází)
- $R \rightarrow 0$ jestliže $Z_1 \sim Z_2$ (případ měkkých tkání s podobnou impedancí)
- $R \rightarrow 1$ jestliže $Z_2 \gg Z_1$ (případ rozhraní měkká tkáň a kost nebo rozhraní vzduch měkká tkáň)

Z posledního bodu vyplývají omezení platná pro ultrazvukové zobrazovací metody. Mezi ultrazvukovou sondou a povrchem těla je vzduchová vrstva, která má podstatně menší akustickou impedanci ve srovnání s kůží a tudíž dochází k velkým odrazům na rozhraní vzduch kůže, proto je nutno nanést gel na povrch těla v místech, kde bude pohybováno ultrazvukovou sondou a tím zajistit impedanční přizpůsobení. Ze stejných důvodů značně rozdílné akustické impedance ve srovnání s měkkými tkáněmi s vysokým obsahem vody je obtížné zobrazovat např. tkáně s vysokým obsahem vzduchu (plíce) nebo struktury kryté kostí. U kosti, kromě odrazu na povrchu, dochází i ke značné absorpci ultrazvuku. Tento efekt se může dokonce projevit jako tzv. periostální bolest, kdy energie ultrazvuku se mění v teplo. Ke ztrátě energie ultrazvuku nedochází pouze na rozhraních, nýbrž i v homogenním prostředí je ultrazvuk postupně absorbován. Míra absorpce závisí nejen na vlastnostech prostředí, ale i na frekvenci ultrazvuku. Přibližně platí, že míra absorpce je přímo úměrná frekvenci, což znamená, že s rostoucí frekvencí ultrazvuku klesá jeho pronikavost. Tato závislost je významná pro volbu vhodné frekvence ultrazvuku při zobrazování hlouběji uložených struktur. S rostoucí frekvencí ultrazvuku se sice zlepšuje kvalita rozlišení detailů, ale klesá jeho pronikavost a opačně. Tento rozpor je prakticky řešen tak, že se používají sondy s přeladitelnou frekvencí. Méně hluboko uložené struktury jsou zobrazovány s větším rozlišením použitím vyšší frekvence a naopak pro pozorování hluboko uložených struktur je využívána nižší frekvence na úkor ztráty rozlišení detailů. Míra absorpce se pro danou tkáň a danou frekvenci ultrazvuku vyjadřuje pomocí absorpčního koeficientu nebo jako polovrstva, tj. vrstva, která absorbuje právě polovinu dopadající ultrazvukové energie. Na příklad pro ultrazvuk o frekvenci 2,5 MHz je polovrstva pro kost 6,5 mm, pro měkké tkáně (mozek, játra, ledviny, ...) je v rozsahu 1,5 – 3 cm.

Jestliže rozhraní dvou tkání, na kterém dochází k částečnému odrazu ultrazvukové vlny, je v klidu vzhledem ke zdroji této ultrazvukové vlny, nebudou se frekvence dopadající a odražené ultrazvukové vlny lišit. V případě, že se toto rozhraní bude pohybovat směrem od sondy či směrem k sondě, dojde k tomu, že frekvence odražené ultrazvukové vlny se liší od frekvence vysílané ze zdroje. Takto vzniklý frekvenční posun je důsledkem Dopplerova jevu, na jehož základě můžeme za předpokladu, že rychlost ultrazvuku je výrazně vyšší ve srovnání s rychlostí pohybu rozhraní, odvodit jeho velikost dle vztahu:

R*4

$$\Delta f = \frac{2 \cdot v \cdot f_0 \cdot \cos \alpha}{c}$$

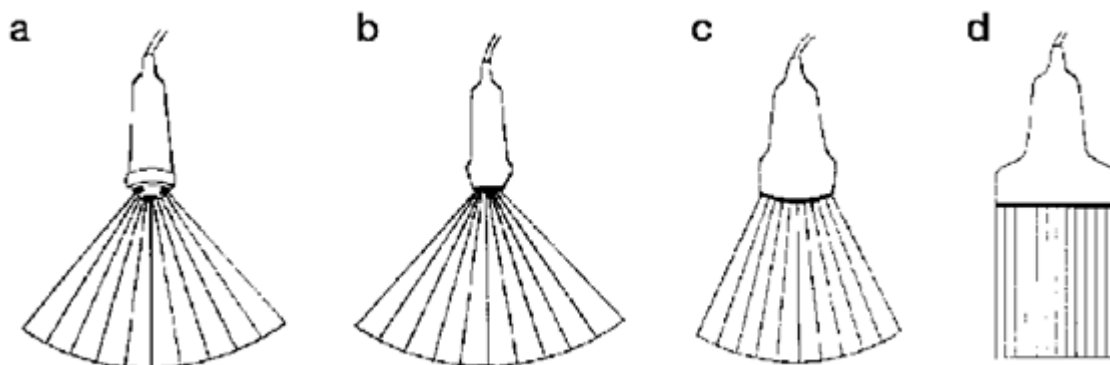
kde Δf je frekvenční posun, tj. rozdíl frekvence ultrazvuku odraženého a dopadajícího na pohybující se rozhraní, v je rychlost pohybu rozhraní, f_0 je původní frekvence ultrazvuku generovaného zdrojem, α je úhel svíraný vektory rychlosti pohybu rozhraní se směrem šíření ultrazvukové vlny dopadající na toto rozhraní a c je rychlost šíření ultrazvuku v daném prostředí. Tohoto jevu je využíváno pro měření rychlosti toku krve, kdy pohybujícím se rozhraním, na kterém dochází k odrazu ultrazvuku, jsou krevní elementy.

Ultrazvuk jako zobrazovací metoda

2D zobrazení

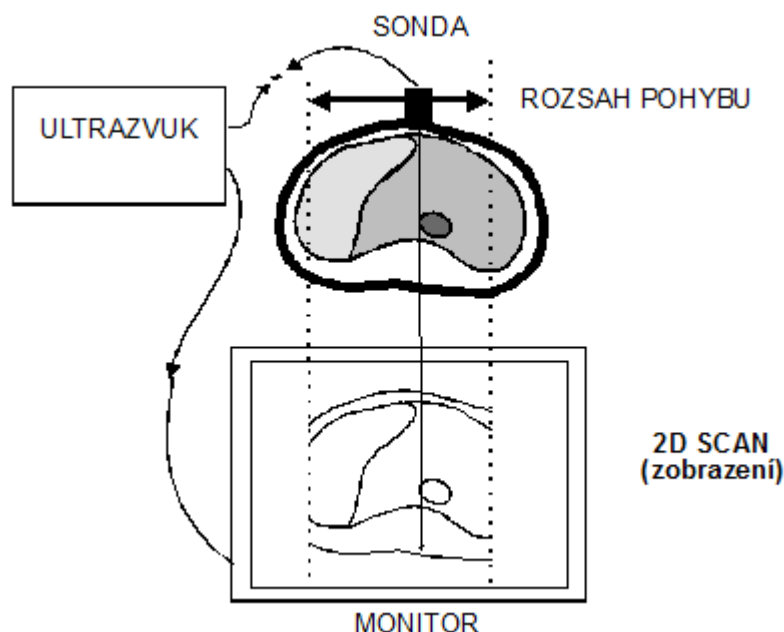
Cílem nejrozšířenějšího tzv. 2D zobrazení je vytvoření dvourozměrného obrazu řezu měkkými tkáněmi těla. Rovina řezu je jednoznačně vymezena tvarem ultrazvukového pole, které je generováno zvoleným typem ultrazvukové sondy. Dvourozměrné ultrazvukové pole bylo dříve generováno i mechanicky rotací jednoho ultrazvukového měniče v rovině zobrazení. Dnes se generuje prakticky výhradně elektronicky, kdy sonda je tvořena několika miniaturními měniči (až 128), jejichž vzájemné uspořádání a jejich synchronizovaná aktivace určují výsledné ultrazvukové pole. Ultrazvukové pole mechanické sondy je vějířovité s úzkou základnou. Elektronické sondy nabízejí více variant, sektorové pole s úzkou základnou, sektorové pole se širokou základnou (konvexní sondy) a lineární ultrazvukové pole. Každé ze sond resp. každé z ultrazvukových polí má své typické využití související s jeho výhodami a nevýhodami. Sonda se sektorovým polem a úzkou základnou je vhodná k zobrazování struktur částečně zakrývaných kostí, např. zobrazení tkání chráněných žebry přiložením takovéto sondy do mezižebří. Pro účely měření je nejvhodnější lineární pole, neboť nedochází ke zkreslení obrazu. Každá sonda je popsána tvarem ultrazvukového pole, který je dán uspořádáním

měníčů a vysílanou frekvencí (u přeladitelných sond rozsahem frekvencí). Nejrozšířenější sondy a jejich ultrazvuková pole jsou znázorněny na obrázku.



Ultrazvuková pole různých typů sond (a-mechanická, b, c, d- elektronické, b, c –sektorové pole, d – lineární pole)

Vzhledem k rychlosti rotace jednoho měniče v případě mechanických sond či rychlosti elektronického přepínání v případě sond s více měniči se zobrazení 2D nejeví jako sekvence vzájemně posunutých B-zobrazení, kterými ve skutečnosti je, ale jako obraz celé roviny řezu vytvořený najednou, a proto je často používán místo 2D pojem real image (real mode). 2D zobrazení je nastaveno jako základní režim zobrazení u všech ultrazvukových zobrazovacích jednotek, vyjma jednoduchých průtokoměrů. Kromě zviditelnění řezu vnitřními strukturami organismu umožňuje 2D zobrazení provádět na daném obrazu různá měření, založená na určování vzdáleností echogenních struktur od sondy. Tímto způsobem lze určovat průřezy cévami, velikost a hloubku uložení sledovaných struktur a podobně.



Princip 2D zobrazení

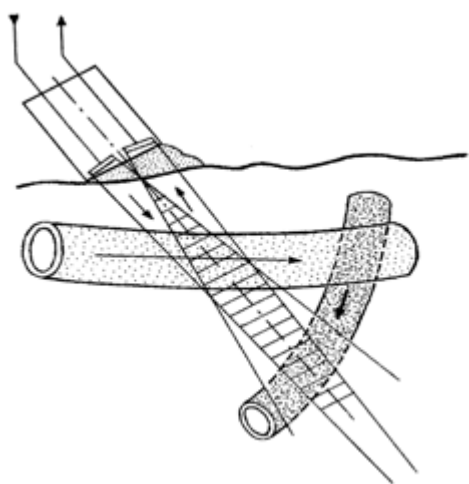
Doplerovské metody

Princip doplerovských metod je jednoznačně vyjádřen vztahem $R \cdot 4$. Primárním cílem těchto metod je obecně měření rychlosti pohybujících se struktur, zejména pak měření rychlosti toku krve a v kombinaci s 2D zobrazením neinvazivní měření průtoku krve. Doplerovské metody lze rozdělit do dvou skupin podle toho, zda pracují ve spojitém či pulzním režimu. Oba tyto režimy mají své výhody a nevýhody.

Spojitě doplerovské zobrazení – průtokoměry

Spojitě doplerovské zobrazení se vyznačuje tím, že je nutno použít odděleného vysílače a přijímače ultrazvukového vlnění, které musí být navíc akusticky vhodně odděleny. Jak již název napovídá, vysílač s jedním měničem spojitě generuje akustický signál a nelze ho tudíž přepínat do režimu přijímače. Vzhledem k tomu, že frekvenční posun je pro v těle měřitelné rychlosti toku krve ve slyšitelné oblasti jsou doplerovské průtokoměry vybaveny akustickým výstupem, který velmi významně přispívá k základní orientaci o průtokových poměrech ve sledované části cévního řečiště. Základním výstupem je však zobrazení rychlosti toku v závislosti na čase. Výhodou průtokoměrů je jejich jednoduchost a cenová dostupnost, vybaveny jsou jednoduchými sondami, ve kterých je přijímač i vysílač a které se liší frekvencemi generovaného ultrazvuku. Jejich

nevýhodou ve srovnání s pulzními metodami je skutečnost, že nelze zobrazit uspořádání a umístění sledovaných cév, neboť nelze měřit vzdálenosti. Dále měření absolutní velikosti rychlosti je pouze orientační, neboť nelze pro výpočet rychlosti určit úhel α (viz. vztah [R*4](#)). Ze stejných důvodů nerozlišíme v případě dvou překrývajících se cév, kterou rychlost vlastně měříme (situace je znázorněna na obrázku). Průtokoměry jsou využívány zejména ke sledování toku krve v horních a dolních končetinách.



Překrývání ve spojitém dopplerovském zobrazení

Pulzní Dopplerovské metody

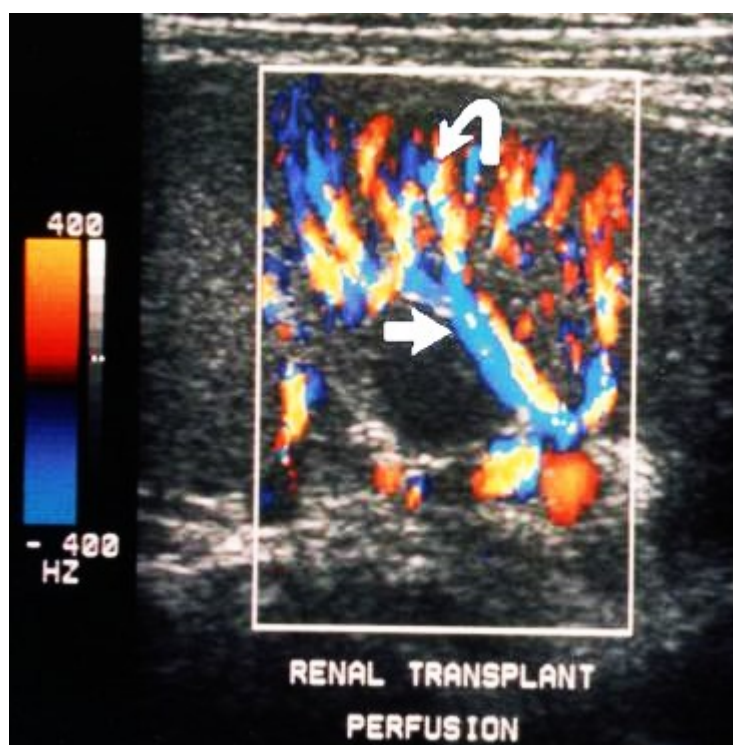
Pulzní dopplerovské metody se využívají téměř výhradně v kombinaci s echografickými metodami, neboť používají stejné sondy, které mohou pracovat v různých režimech, při jejich kombinaci pak mluvíme o duplexních či triplexních režimech zobrazení. Pulzní režim generování ultrazvukových vln umožňuje zároveň sledovat časový i frekvenční posun odraženého vlnění, což vede k tomu, že na monitoru lze zobrazit, jakou rychlost měříme a kde ji měříme. K tomuto účelu jsou ultrazvukové přístroje vybaveny technickými prostředky, které umožňují přímkou zobrazit směr šíření ultrazvukové vlny a stejným způsobem označit směr toku krve, což vede k automatickému odečtu úhlu, který tyto dvě přímky svírají. Navíc lze vymezit oblast, ve které je rychlost měřena, což umožňuje sledovat i rozložení rychlosti např. v cévě. Tato oblast se označuje jako vzorkovací objem. Podle toho, jak je změřená rychlost zobrazena na monitoru, rozeznáváme několik režimů pulzního dopplerovského zobrazení.

Poznámka:

Jak již bylo uvedeno v úvodní kapitole, v případě pulzního režimu generování ultrazvuku jsou krátké ultrazvukové vlny vysílány s určitou frekvencí označovanou jako pulzní repetiční frekvence (PRF). V pauze po vyslání impulsu do doby než vyšle další, musí přístroj zaregistrovat všechny odrazy, které tento impuls na jednotlivých rozhraních vyvolal. To znamená, že sonda se stejnou opakovací frekvencí přijímá i vysílá ultrazvukový signál. I když se za této situace jedná číselně o stejnou frekvenci, v případě přijímání informace ji označujeme jako vzorkovací frekvence. Podle Shanonnova teorému z teorie informace však platí, že nezkresleně lze vzorkovat periodický signál se vzorkovací frekvencí, která je minimálně dvojnásobkem nejvyššího kmitočtu snímaného signálu. V případě dopplerovského pulzního záznamu musí tento vztah platit mezi frekvencí snímaného dopplerovského posuvu a repetiční frekvencí sondy. To znamená, že při dané repetiční frekvenci je omezena maximální nezkresleně snímatelná rychlost. Po překročení této rychlosti dojde ke zkreslení záznamu, který bývá označován anglickým pojmem aliasing. Aliasing se projeví ve spektrálním záznamu i barevném dopplerovském záznamu efekty spojenými se zdánlivou změnou orientace toku krve, tj. např. v případě barevného záznamu je v místě překročení horní hranice rychlosti místo původně červené modrá barva a opačně.

Dopplerovská metoda mapování průtoku barvou (Color Doppler Imaging – CDI, Color Flow Mapping – CFM)

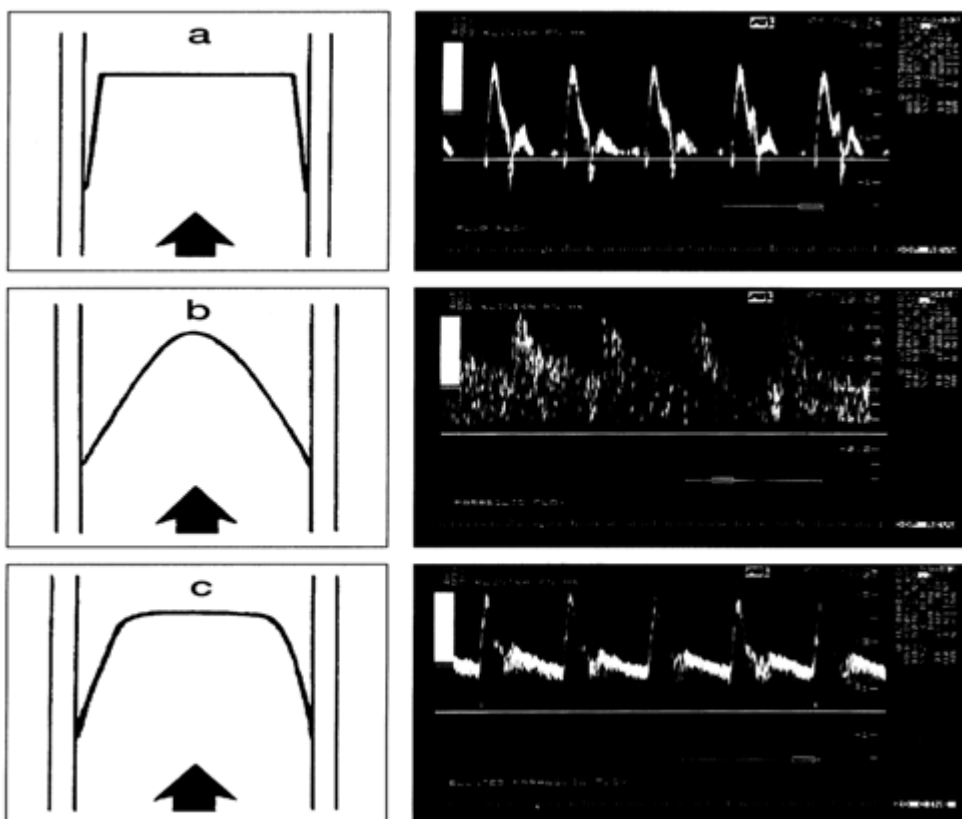
Rychlosti toku krve v cévě je přiřazena barva, nejčastěji jsou to odstíny červené, charakterizující různé rychlosti laminárního toku krve směrem k sondě (frekvenční posuv ve vztahu $R \cdot 4$ je kladný), naopak odstíny modré vyjadřují totéž v případě toku ve směru od sondy, kdy dopplerovský posuv je záporný (tyto barvy nemají nic společného s rozlišením žilní a tepenné krve). V případě turbulentního proudění nelze směr určit a situace je znázorněna zelenou barvou. Barevné dopplerovské zobrazení se využívá v kombinaci s 2-D k barevnému zvýraznění cév ve sledované struktuře, tj. informace o rychlosti je přidána ke stávajícímu 2-D obrazu. Konstrukce barevného obrazu je složitější ve srovnání se zobrazením B. Využívá se tzv. autokorelace, kdy snímání odrazů z jednoho směru se provádí opakovaně, data jsou vzájemně porovnávána a výsledná rychlost je získána průměrováním.



CDI zobrazení toků v transplantované ledvině

Spektrální dopplerovské zobrazení

Ve zvoleném řezu cévou (vzorkovacím objemu) umožňuje zobrazit rozložení celého spektra rychlostí v závislosti na čase. Svislá osa grafu je cejchována buď v jednotkách frekvence [Hz] nebo přímo znázorňuje rychlost [m/s]. Kladné frekvenční posuvy jsou znázorňovány nad časovou osou a naopak záporné frekvenční posuvy, tj. případy, kdy krev teče od sondy, jsou znázorněny pod časovou osou. Některé příklady zobrazení jsou uvedeny na obrázku.



Překrývání ve spojitém dopplerovském zobrazení

3D zobrazovací metody

Oproti klasickému 2D zobrazení nejsou zvukové vlny vysílány a odráženy v jednom směru, ale pod různými úhly. Výsledný obraz je pak rekonstruován ze zachycených zvukových odrazů poměrně sofistikovanými technikami za použití výpočetní techniky. A právě díky rozvoji výpočetní techniky je dnes možné rekonstruovat trojrozměrný obraz v reálném čase. Jako "4D ultrazvuk" se pak nazývají 3D obrazy získané v reálném čase ve filmové sekvenci. Technika 3D zobrazení byla vyvinuta Olafem von Ramm and Stephenem Smithem na Duke University v roce 1987. Klinické použití 3D a 4D ultrazvukových zobrazovacích metod je především v gynekologii a porodnictví v oblasti diagnostiky a výzkumu anatomických anomálií fétu. Dále jsou tyto metody využívány k podpoře vytvoření citové vazby matky k dítěti v prenatálním období.



Postnátální fotografie novorozence ve srovnání s 3D UZ zobrazením tváře prenatalně

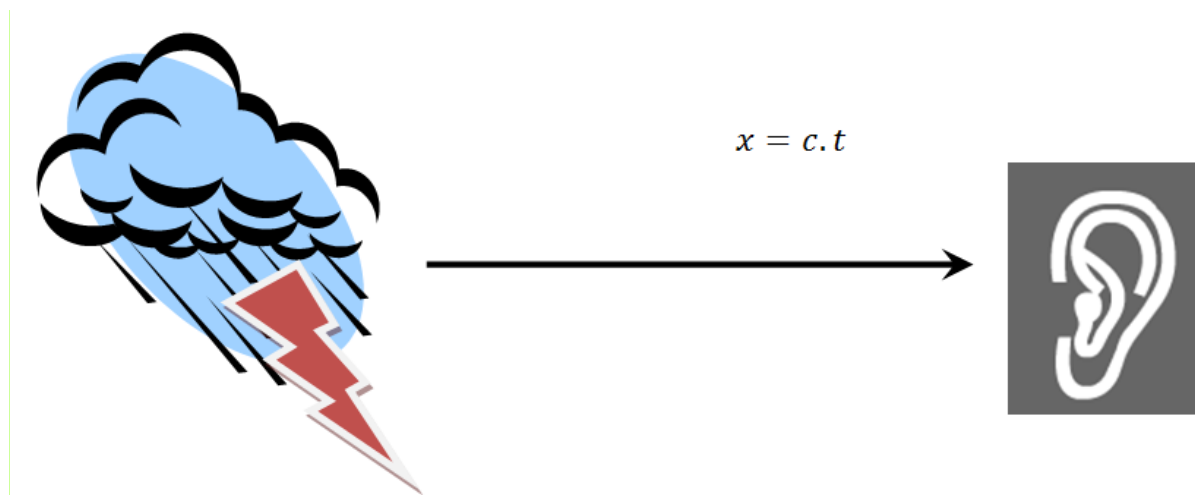
Základní fyzikální princip měření ultrazvukem

V předchozích odstavcích jsme se dozvěděli něco o základních fyzikálních vlastnostech ultrazvuku, jeho rychlosti šíření, odrazivosti apod. Zjistili jsme, jak také vypadá schematicky princip snímání a tvorby některých obrazů a dat pomocí ultrazvukového přístroje. Jak to však funguje z fyzikálního hlediska dohromady?

Zaměřme se tedy na získávání těch elementárních fyzikálních údajů, jako jsou rozměry zobrazených objektů. Mějme tedy zobrazený nějaký řez pacientem na monitoru ultrazvukového zařízení. Jedním ze základních uživatelských „nástrojů“ bude měření rozměrů zobrazených struktur pomocí nějakých měřítek a pár kliknutí tlačítkem myši. Jak je však tento údaj získán? Principem nejsou opět žádná kouzla a čáry, ale reálné situace, se kterými se každý z nás setkává v běžném životě. Máme tedy k dispozici zvuk (hrom blesku) nebo zdroj zvuku – **tlesknutí rukou** a dále detektor zvuku – **uši** a systém, který údaje zpracuje a vyhodnotí – **mozek**. Jak pomocí těchto nástrojů zjišťovat vzdálenost? Jistě si každý vzpomene na nejjednodušší případ, který nám sdělili v již dětství naši rodiče či prarodiče. Je jím měření vzdálenosti bouřky, resp. právě

spatřeného blesku od nás. Postup je jednoduchý: zahlédneme blesk a počítáme sekundy do doby, než uslyšíme hrom. Počet sekund podělíme třemi a dostaneme tak přibližnou vzdálenost blesku v kilometrech.

Fyzikální princip je následující:



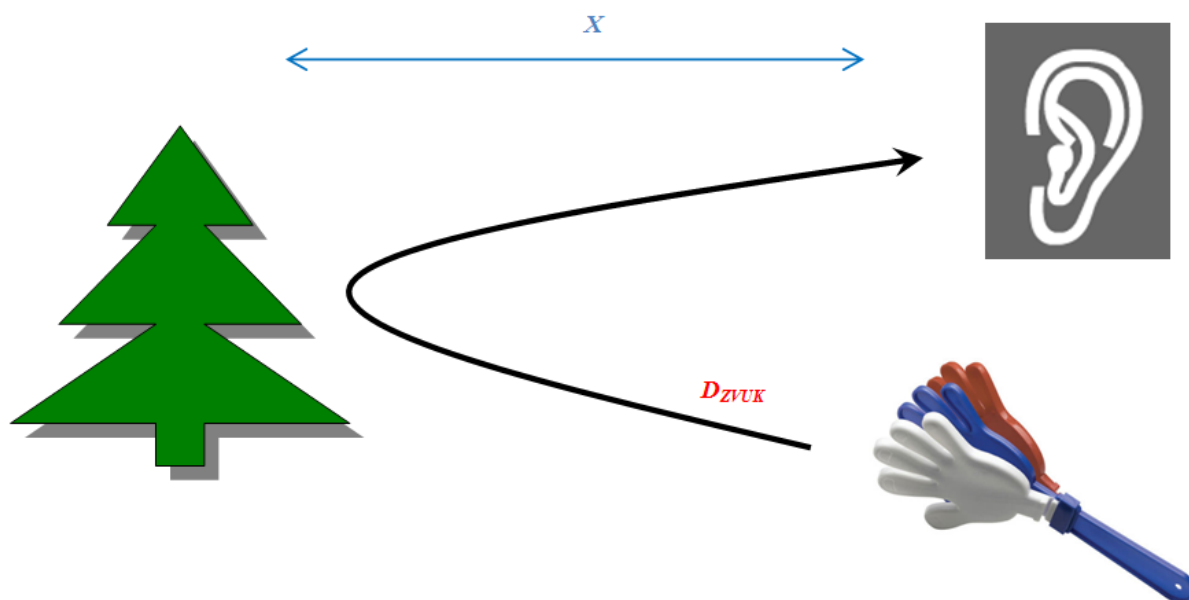
1. Nejprve dojde k elektrickému výboji = blesk, jenž díky dalším fyzikálním procesům (tlakový ráz kvůli prudkému zvýšení teploty v místě blesku) je zároveň zdrojem zvuku.
2. Díky vysoké rychlosti šíření světla můžeme zanedbat zpoždění mezi skutečným zábleskem a jeho spatřením daným dobou šíření světla a zpracování signálu v naší CNS. Spatření blesku tedy můžeme považovat za počátek fyzikálního děje, tedy i za počátek vytvoření zvukového rázu – hromu.
3. Začneme počítat sekundy od počátku děje. Hrom – zvuková vlna – se zatím blíží k nám rychlostí zvuku v daném prostředí, tedy vzduchu $c = 340 \text{ m/s}$. V době kdy uslyšíme hrom, přestaneme počítat – zvuk k nám dorazil. Známe tedy rychlost zvuku a dobu, kterou potřeboval k uražení vzdálenosti od místa svého vzniku (blesku) až k nám (uši). Výslednou vzdálenost spočítáme jednoduše dle vztahu:

$$x = c \cdot t$$

neboli

$$x = \frac{340 \text{ m}}{\text{s}} t \approx \frac{1}{3} \frac{\text{km}}{\text{s}} t$$

Podobným způsobem můžeme zjistit vzdálenost velkého objektu od nás, jako je les nebo skály. Nyní si však zvuk musíme vytvořit – zavoláním, nebo tlesknutím. Opět počítáme dobu od okamžiku, kdy jsme tleskly do okamžiku, než uslyšíme ozvěnu.



Nyní vzdálenost kterou urazil zvuk je:

$$D_{\text{zvuk}} = c \cdot t$$

Zvuk však urazil vzdálenost D_{zvuk} tam – odrazil se – a zpět. Tedy dvojnásobnou, než je skutečná vzdálenost mezi námi a např. lesem x . Pak tedy platí:

$$x = \frac{c \cdot t}{2}$$

což je přesně tentýž vztah pro výpočet vzdálenosti, kterou užívá ultrazvukové zařízení. Rychlost zvuku však v případě běžného medicínského užití UZ zařízení je rovna rychlosti šíření zvuku v měkkých tkáních (resp. vodě), tedy přibližně $c = 1500 \text{ m/s}$. Jednotlivé piezoměniče sondy vysílají postupně za sebou krátké zvukové pulsy a následně po definované dobu zaznamenávají jednotlivé ozvěny vzniklé odrazem zvuku na rozhraní jednotlivých tkáňových struktur. Poté dosazením dané doby t mezi vznikem zvuku a registrací jeho ozvěny vynásobí rychlostí c a podělí dvěma a dostane tak vzdálenost příslušného odrazivého rozhraní od UZ sondy.

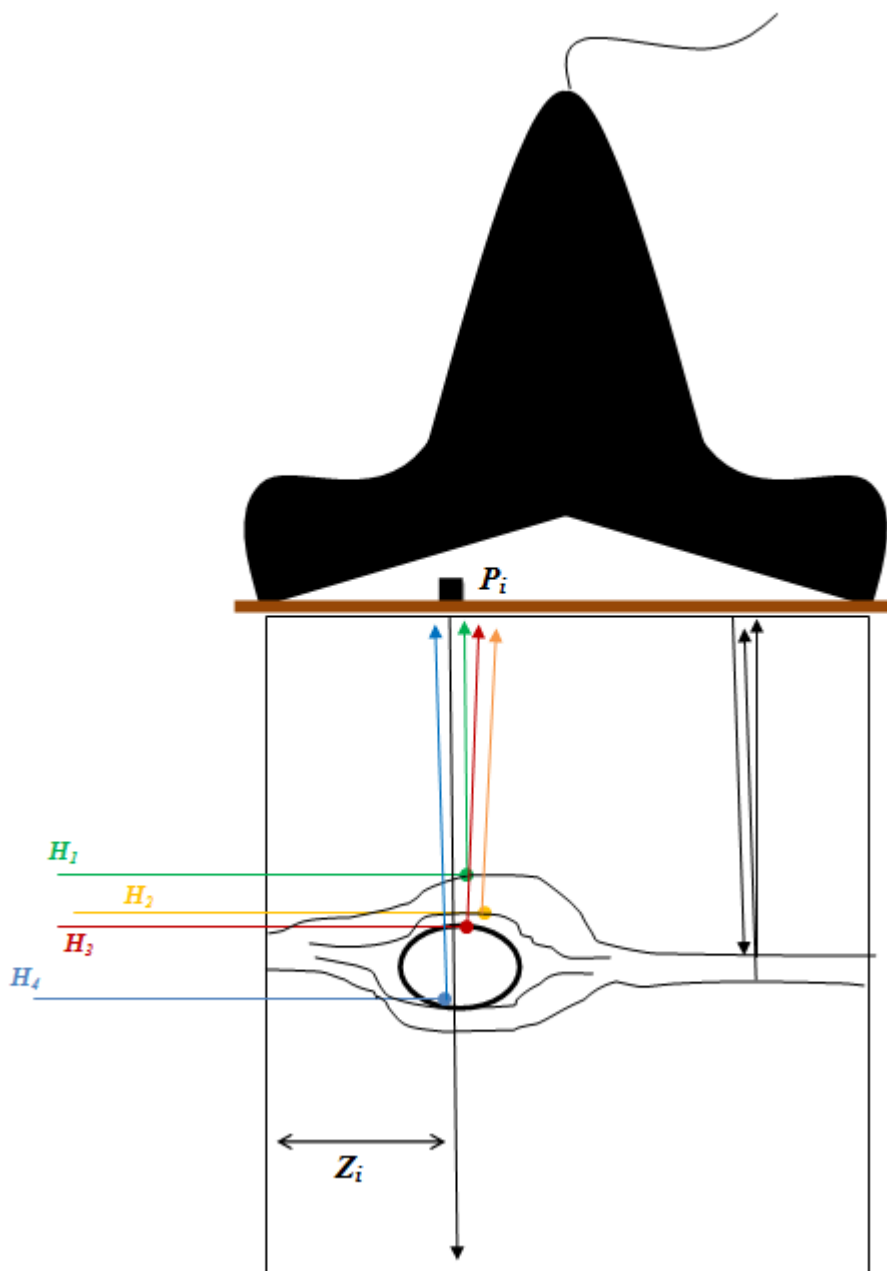
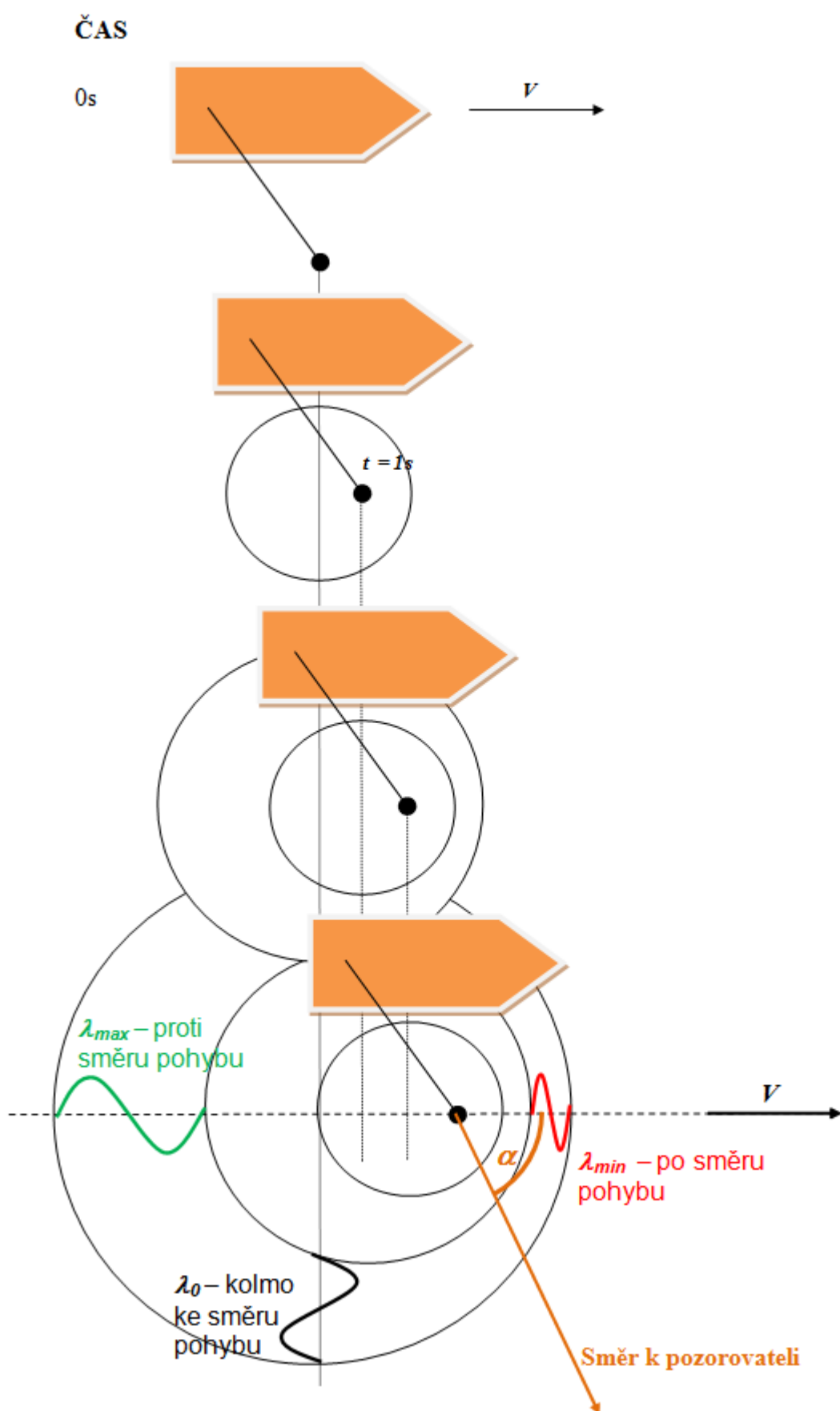


Schéma UZ sondy: Z_i je vzdálenost měniče P_i od kraje sondy a H_i je vypočítaná hloubka místa odrazu zvukového impulsu. Výsledné hodnoty vzdáleností (hloubek v tkáni) převede na polohu bodu, který pak v daném místě na obrazovce nakreslí, jako místo odrazu, a tak vzniká UZ snímek. Každý bod na obrazovce má tedy přesně svoji danou polohu $[Z_i, H_i]$ a označíme li např. myší dva body, počítač již snadno vypočte jejich vzájemnou polohu.

Vzhledem k tomu, že v našem těle existují i struktury, které se neustále pohybují – např. krev, je (i z hlediska zjišťování průtoku krve) vhodné

zjišťovat momentální rychlost jejich pohybu či její změny v čase. K zjišťování rychlosti nám slouží výše zmíněný Dopplerův jev. Opět nejde o nic zvláštního. Setkáváme se s ním v běžném životě v podstatě permanentně. Jedná se vlastně o změnu výšky tónu zvuku (frekvence) vůči nám se pohybujících předmětů vydávajících zvuk. Např. průjezd auta, vlaku apod. Jistě víme, že pokud sedíme v autě jedoucím stálou rychlostí, neslyšíme žádné změny, ale stojíme-li u silnice, vnímáme výrazné snížení zvuku po průjezdu auta kolem nás. Je však naivní si myslet, že auto „udělalo“ známé „héénnnnnnnnn“ schválně jen kvůli nám, když nás „vidělo“. Jak tedy fyzikálně dochází ke změně frekvence a tudíž výšky tónu? Existují dva případy, kdy k tomu dochází.

Prvním případem klasického Dopplerova jevu je **pohybující se zdroj a stojící pozorovatel**. Představme si, že jedeme s tatínkem na loďce rybařit a jako malí uličníci mu plašíme ryby a v pravidelných intervalech (např. 1s) plácáme klacíkem do vody. Kolem každého plácnutí se vytvoří tlaková vlna, která se dle Huygensova principu šíří v kulových vlnoplochách od zdroje. Lidově řečeno na vodě se utvoří kolo. Zatím však popojedeme konstantní rychlostí s lodí a další plácnutí je excentricky vůči již rozbíhajícímu se kolu. Další kolo tedy vzniká excentricky vůči předchozímu atd. Tudíž na jedné straně (po směru rychlosti lodi) jsou okraje kruhů k sobě blíže (stále loďkou dojíždíme vlnu na okraji rozbíhajícího se kruhu) a na druhé dál. Kolmo vůči pohybu lodi se logicky nic neděje. Na obrázku λ_0 je tedy vlnová délka (vzdálenost kruhů) která by vznikla, kdyby loďka stála (nebo jako když hodíme kámen do vody).



Platí potom následující matematický vztah: vlnová délka λ - neboli vzdálenost dvou po sobě jdoucích maxim - neboli délka = rychlost * čas (-neboli perioda T nebo jedno lomeno frekvence $1/f$), zapsáno:

$$\lambda = c \cdot T = c/f$$

u stojícího zdroje. Avšak v našem případě se zdroj vůči směru šíření vlnění pohybuje a tak se rychlosti sčítají nebo odčítají - v závislosti na směru pozorování, což je vlastně dáno průmětem rychlosti do směru pozorování, neboli **$v \cdot \cos \alpha$** . Matematicky zapsáno:

R*5

$$\lambda' = \frac{c - v \cdot \cos \alpha}{f_0}$$

$$\lambda'_{min} = \frac{c - v \cdot \cos 0^\circ}{f_0} = \frac{c - v}{f_0}$$

$$\lambda'_{max} = \frac{c - v \cdot \cos 180^\circ}{f_0} = \frac{c + v}{f_0}$$

$$\lambda_0 = \frac{c - v \cdot \cos 90^\circ}{f_0} = \frac{c - 0}{f_0} = \frac{c}{f_0}$$

Druhým případem je **stojící zdroj a pohybující se pozorovatel**.

Frekvence pozorování zde může být způsobena už jen samotným pohybem pozorovatele. Např. když jedeme na kole kolem plotu, vnímáme, jak se latky míhají. Vlnová délka (vzdálenost latěk) se v tomto případě nemění, ale se zvyšující se rychlostí pozorovatele se mění frekvence (např. to míhání latěk). Opět záleží na směru pohybu pozorovatele vůči zdroji. Výsledné vztahy vypadají:

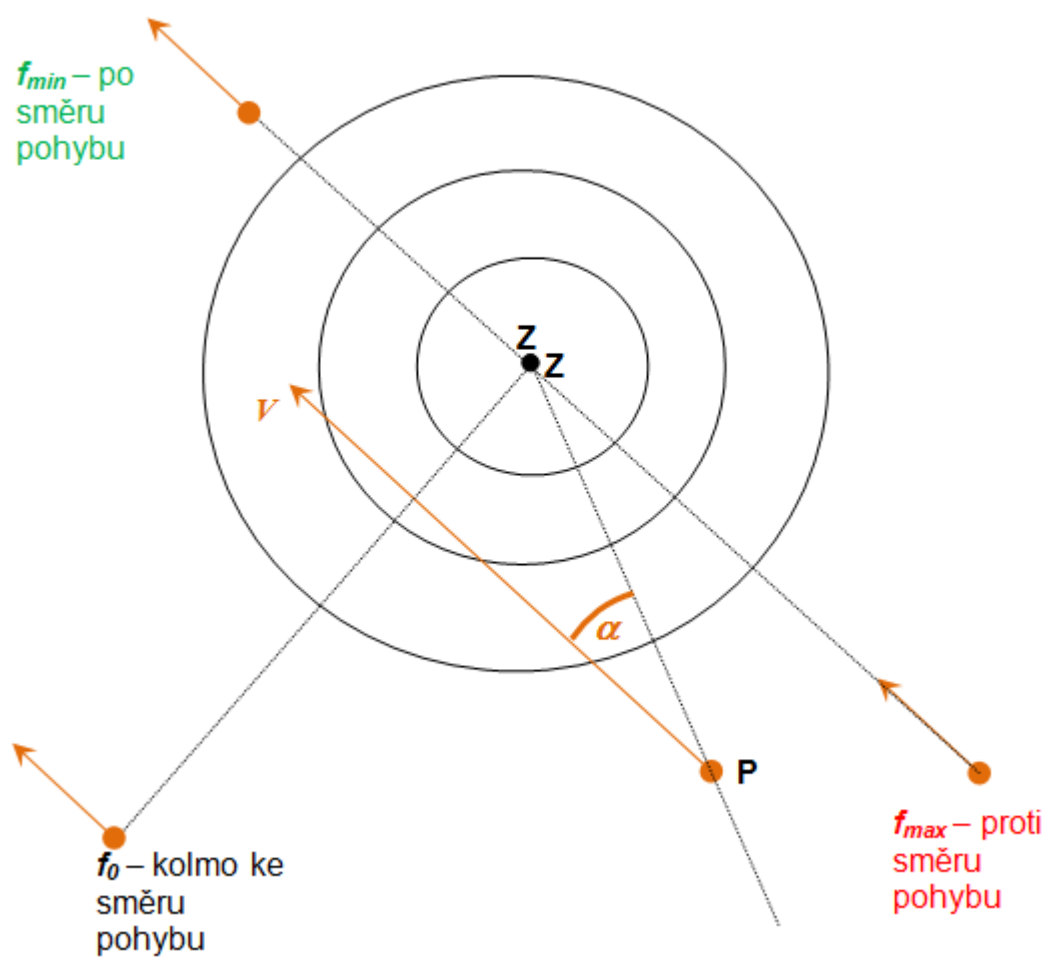
R*6

$$f' = \frac{c + v \cdot \cos \alpha}{\lambda_0}$$

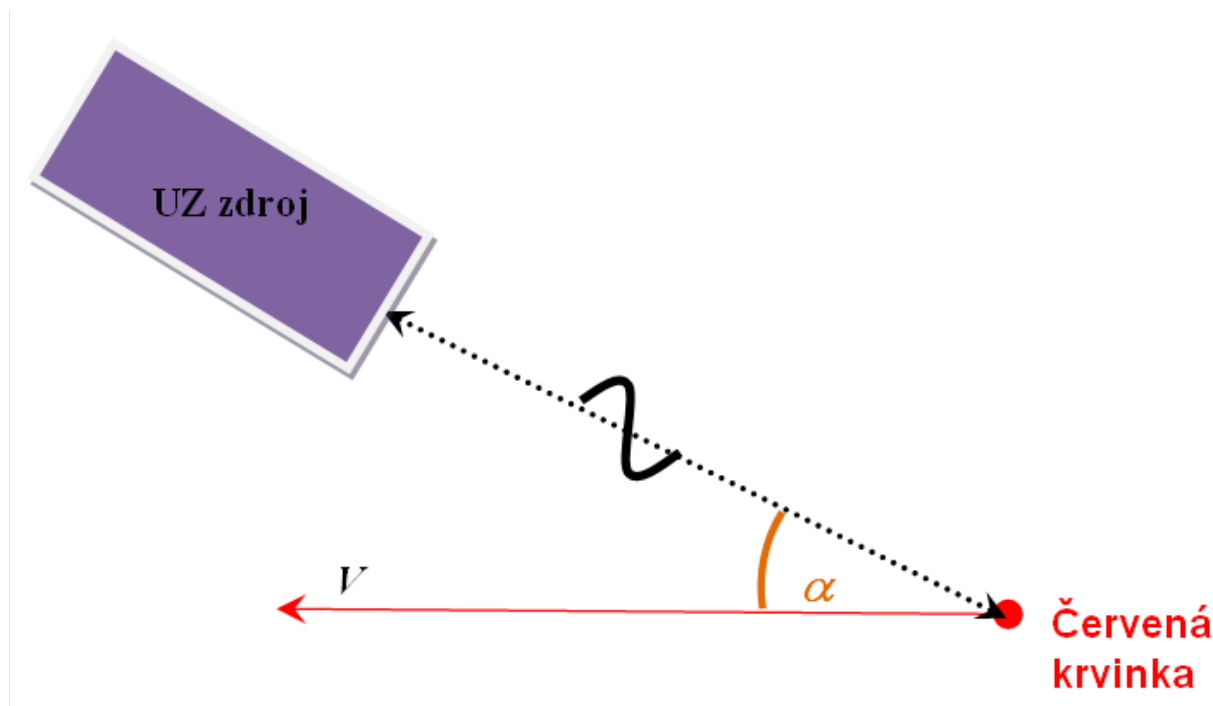
$$f'_{max} = \frac{c + v \cdot \cos 0^\circ}{\lambda_0} = \frac{c + v}{\lambda_0}$$

$$f'_{min} = \frac{c + v \cdot \cos 180^\circ}{\lambda_0} = \frac{c - v}{\lambda_0}$$

$$f_0 = \frac{c + v \cdot \cos 90^\circ}{\lambda_0} = \frac{c + 0}{\lambda_0} = \frac{c}{\lambda_0}$$



V řadě reálných situací a to i v našem případě zjišťování rychlosti např. proudění krve pomocí UZ přístroje se jedná o **kombinaci obou jevů**. Nejprve je vyslán UZ signál ze stojícího zdroje (vysílač UZ sonda) vůči pohybujícímu se pozorovateli (krvinka). Ta signál odráží, čímž se stává pohybujícím se zdrojem vůči stojícímu pozorovateli (tentokrát přijímač UZ sonda).



Matematicky zapsáno následovně:

Nejprve přijímá krvinka, jakožto pohybující se pozorovatel, změněnou frekvenci

$$f' = \frac{c + v \cdot \cos \alpha}{\lambda_0}$$

Poté, jakožto pohybující se zdroj, krvinka signál odráží, přičemž se signál znovu mění – mění se jeho vlnová délka dle vztahu

$$\lambda' = \frac{c - v \cdot \cos \alpha}{f'}$$

a po vzájemném dosazení

$$\lambda' = \frac{c - v \cdot \cos \alpha}{c + v \cdot \cos \alpha} \lambda_0$$

Frekvence se po přepočtu mění následovně:

$$f'' = \frac{c + v \cdot \cos \alpha}{c - v \cdot \cos \alpha} f_0$$

A pro změnu frekvencí dostáváme

$$\Delta f = f'' - f_0 = \frac{c + v \cdot \cos \alpha}{c - v \cdot \cos \alpha} f_0 - f_0$$

a dále

$$\Delta f = f_0 \left(\frac{c + v \cdot \cos \alpha}{c - v \cdot \cos \alpha} - 1 \right) = f_0 \left(\frac{c + v \cdot \cos \alpha - c + v \cdot \cos \alpha}{c - v \cdot \cos \alpha} \right)$$

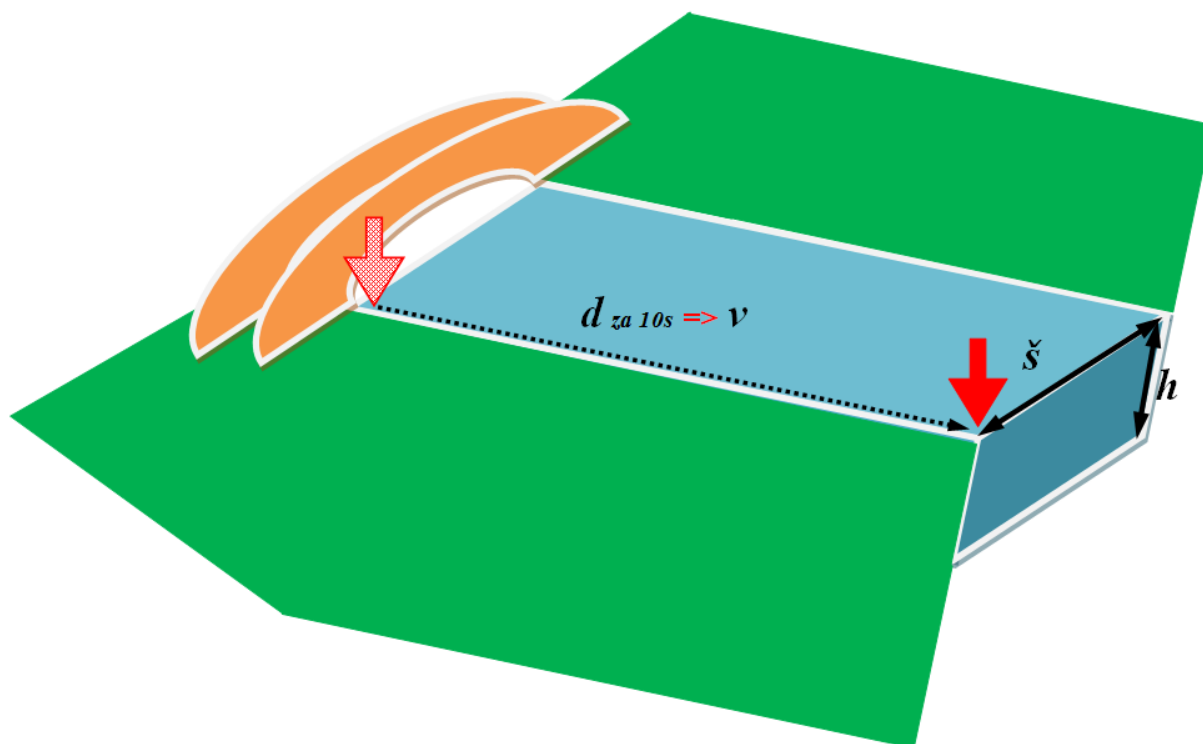
a jelikož **$v \cdot \cos \alpha$** tvoří v případě pohybu červených krvinek pouze nepatrný příspěvek vůči rychlosti šíření ultrazvuku v měkkých tkáních (řádově cca 10000x méně a méně), lze jej ve jmenovateli zlomku zanedbat a dostáváme tak známý přibližný vztah

$$\Delta f = \frac{2vf_0}{c} \cos \alpha$$

Což je naprosto shodný vztah se vztahem [R*4](#).

Nakonec si ozřejmíme jak určovat významnou veličinu – průtok krve. Ta nám často dává informaci, jak je orgán napojený přes příslušnou tepnu zásoben krví a tudíž živinami. Nejprve si definujeme co je to průtok? Průtok znamená, jaký objem nějaké kapaliny proteče určitým místem za jednotku času. Opět můžeme vycházet ze situace z běžného života a provedeme si myšlený experiment. Máme nádhernou chatu na břehu malého potoka. Avšak čas od času hodně zaprší a průtok vody potokem, a tudíž dodávka vody do malé místní hráze, je tak velký, že se brzy hráz přeplní a voda se z potoka rozlije do okolí a zaplaví i naší chatu – resp. její přízemí. Máme již léty odpozorován kritický průtok, při kterém již voda z hráze nestíhá odtékat. A tak nás tento údaj = aktuální průtok vody potokem velmi zajímá, abychom mohli včas věci z přízemí chaty přestěhovat a zabránit tak jejich zničení. Jak si však sami změřit průtok vody v říčce? Jednoduše. Pro hrubý odhad k tomu stačí jen kus delšího klacku. Nejprve si přes lávku přes potok odkrojujeme, jakou má potok šířku v metrech. Potom si dlouhým klackem zjistíme, jak je hluboký. Tím snadno dostaneme průřez řečiště. Poté ulomíme malý kousek klacíku, hodíme jej do vody a počítáme např. do deseti sekund (kvůli větší

přesnosti) a nakonec odkrojujeme vzdálenost, kterou klacík za 10s uplaval. Vynásobíme-li pak šířku řeky, hloubku řeky a délku, která se naplnila za 10s vodou (klacík totiž v ideálním případě plaval – byl unášen stejnou rychlostí, jako tekla voda pod lávkou). Tím dostaneme objem vody, který nám protekl pod lávkou za 10s. Podělíme deseti a máme průtok v metrech krychlových za jednu sekundu.



Objem vody takto proteklé pod mostem za 10s je

$$V_{10s} = h \cdot \mathring{s} \cdot d_{10s}$$

přičemž $h \cdot \mathring{s} = S$ neboli plocha průřezu řeky

$$V_{10s} = S \cdot d_{10s}$$

Průtok Q pak není nic jiného, než objem proteklý za jednotku času neboli za 1s

$$Q = \frac{V_{10s}}{10} = \frac{S \cdot d_{10s}}{10} = S \cdot d_{za\ 1s}$$

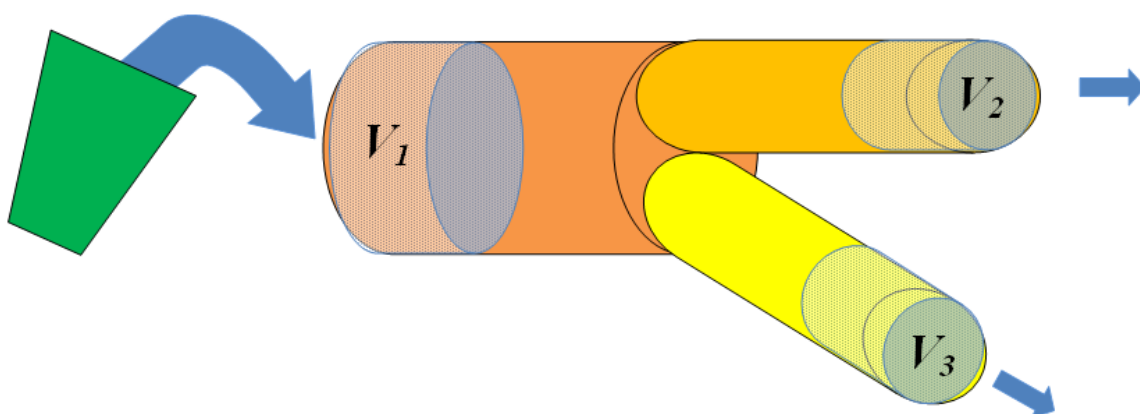
Zde $d_{za\ 1s}$ není nic jiného než vzdálenost uplavaná klacíkem (červenou

šipkou) za 1s neboli rychlost v pohybu klacíku (šipky) = rychlost proudění vody (tečení řeky). Výsledně tedy docházíme k obecně platnému vztahu

R*7

$$Q = S \cdot v$$

Tento výsledný vztah se nám hodí do ještě jedné velmi důležité rovnice – závislosti zvané rovnice kontinuity. Nejde v principu o nic jiného, než zákon zachování hmoty. Tento případ nastává např., kdy měříme průtok karotidou a dále jejími dvěma následujícími větvemi. Sledujeme tak postupný tok krve do mozku a jeho zásobením živinami. Stejný princip funguje u každého uzavřeného systému, kde proudící kapalina je ideální a nestlačitelná(!). Mějme uzavřený systém odpadních trubek z domu, který se větví.



Je logické, že neztrácí-li se ani nepřibývá voda „po cestě“, vylijeme-li do odpadní trubky na jedné straně belík vody o $V_1 = 10\text{l}$, vyteče z trubek na opačném konci ten samý objem, neboli $V_2 + V_3 = 10\text{l}$. Totéž platí, bude-li téct do odpadu voda z kohoutku o průtoku $Q_1 = V_1/1\text{s} = 10\text{ l/s}$, bude to samé množství vytékat na opačném konci $Q_2 + Q_3 = V_2/1\text{s} + V_3/1\text{s} = 10\text{ l/s}$. Pokud je tedy systém pevný a plně uzavřený a kapalina je nestlačitelná, není jiné možnosti, jinak by nám někde kapalina musela sama od sebe vznikat nebo mizet do jakési černé díry, což je samozřejmě nesmysl. Z výše uvedeného tedy můžeme odvodit obecně platné pravidlo zvané rovnice kontinuity

R*8

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 = konst.$$

Opět nutno podotknout, platí pouze pro uzavřený systém, kde odnikud nepřitéká ani neodtéká další kapalina. Využijeme-li nyní vztahu [R*7](#), rozepíšeme vztah [R*8](#) následovně:

R*9

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \Rightarrow S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 + S_3 \cdot v_3 = konst.$$

Abychom se tedy vrátili k našemu příkladu karotidy a jejích větví v praxi, zjistíme pomocí UZ přístroje průměry karotidy a jednotlivých větví. Z těchto průměrů v příčném řezu vypočítáme plochy průřezů, kde

$$S = \pi \frac{d^2}{4}$$

Dále s užitím Dopplerova jevu zjistíme pomocí UZ přístroje rychlosti proudění krve karotidou a jednotlivými větvemi a po dosazení do vztahu [R*9](#), nám musí vycházet shoda – tedy průtok karotidou musí být stejně veliký jako součet průtoku jejími větvemi (tedy v rámci přesnosti měření alespoň přibližně).

11.6 Fragmentovaný podkladový materiál kurzu EKG

Elektrická aktivita srdce - fyzilogické procesy

Svalová tkáň a tedy i srdeční svalovina je vzrušivá, tj. je schopna generovat vzruch, **akční potenciál** (AP) a šířit ho. Vzrušivá tkáň se může nacházet ve dvou stavech - v klidovém a vzbuzeném. Oba stavy jsou popsány určitým elektrickým stavem membrány buněk tkáně. V klidovém stavu je membrána polarizována (to je ale každá buněčná membrána živé buňky, i nevzrušivé). Mezi vnitřním a vnějším povrchem membrány naměříme napětí, jehož velikost je v rozsahu – 55 (30) mV (pro samovolně vzrušivou tkáň převodního systému srdce) až – 80 (90) mV. Znaménko mínus znamená, že vnitřek buňky je záporný vůči vnějšímu povrchu membrány. Po podráždění nadprahovým podnětem dochází na membráně k potenciálovým změnám, které označujeme jako akční potenciál. Časový průběh akčního potenciálu má dvě fáze. Fázi **depolarizace**, kdy dochází změně polarity membrány v důsledku zvýšení propustnosti membrány pro Na^+ ionty, které proudí dovnitř buňky, následována zvýšením propustnosti pro ionty K^+ . Vnější povrch membrány se stane záporným. Ta část depolarizace, kdy se vnitřek buňky stává kladným, se nazývá **transpolarizace**. Fáze **repolarizace**, kdy dochází k návratu snížení propustnosti membrány do původního klidového stavu a začátku fungování sodíko-draslíkové pumpy. Depolarizace membrány vyvolává kontrakci (stah) svalu, repolarizace odpovídá relaxaci (uvolnění) svalu.

Akční potenciál kosterního svalu trvá 2 ms, akční potenciál srdečního svalu trvá 200 - 300 ms. Je to způsobeno pozvolným nárůstem propustnosti membrány pro Ca^{2+} ionty, které proudí dovnitř buňky. Buněčná membrána zůstává depolarizována, tj. nemění se její potenciál. Tato fáze akčního potenciálu se nazývá "**plató**" a má zásadní význam pro synchronizovanou kontrakci srdečního svalu.

AP vzniká a šíří se ve specializované srdeční svalovině, která se nazývá **převodní systém srdeční**. Specializace svaloviny spočívá v tom, že :

se nekontrahuje, neboť obsahuje méně kontraktálních bílkovin (aktin, myosin)

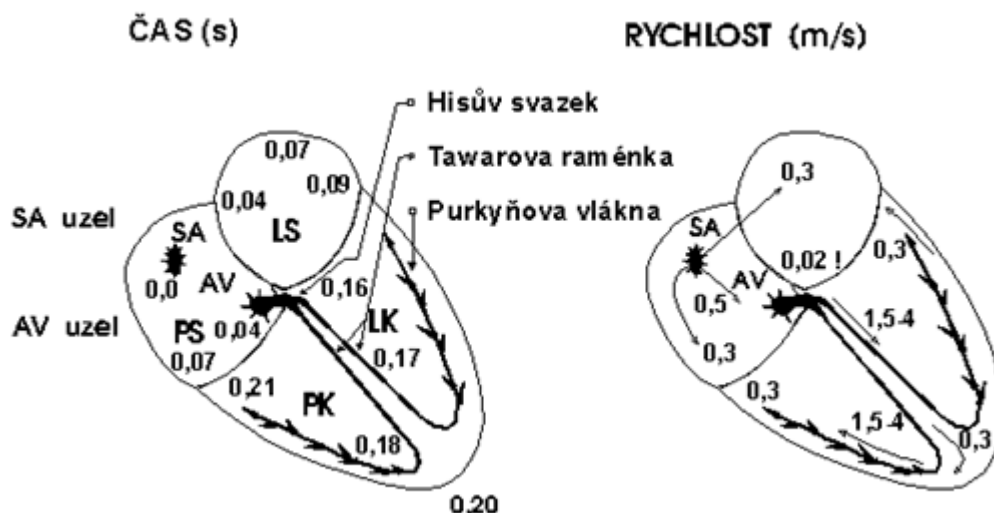
samovolně generuje AP. Frekvence generovaných AP, ve směru šíření vzruchu klesá.

Převodní systém srdeční tvoří tyto části:

- sinoatriální uzel (S-A uzel), nachází se v pravé síni v místě kde do síně ústí horní dutá žíla a sinus coronarius.
- atrioventikulární uzel (A-V uzel), nachází se na zadní stěně pravé síně v blízkosti mezisíňového septa.
- z A-V uzlu vychází Hisův svazek, který se dělí v mezikomorovém septu na pravé a levé Tawarovo raménko, levé raménko se dále dělí na přední a zadní větev
- terminální částí převodního systému jsou Purkyňova vlákna, která se vnořují z vnitřního povrchu komor do svaloviny.

Funkční vlastnosti jednotlivých částí převodního systému

Za normálních okolností vzniká AP v S-A uzlu a to s frekvencí 70 - 80 vzruchů/min. S-A uzel je místo primární srdeční automacie (primární pacemaker). Z S-A uzlu se vzruch šíří po svalovině síní do A-V uzlu. Po svalovině se vzruch šíří průměrnou rychlostí 0,3 m/s. V A-V uzlu se vzruch šíří rychlostí pouhých 0,02 m/s, čímž dochází ke zpoždění v šíření vzruchu o 0,12 s. Toto zpoždění má zásadní význam pro synchronizaci kontrakce síní a komor. Je to časový interval dostatečný k tomu, aby kontrakce síní předcházela kontrakci komor (aktivní plnicí fáze diastoly), A-V uzel je místem sekundární srdeční automacie. Pokud je porušen převod vzruchů z S-A do A-V uzlu, generuje A-V uzel vlastní AP s frekvencí přibližně 60 vzruchů/min. Při poruše vedení na nižších úrovních mohou AP vznikat: v Hisově svazku s frekvencí přibližně 50 vzruchů/min, v Tawarových raménkách 40 vzruchů/min, a v Purkyňových vláknech 20 vzruchů/min (není již slučitelné se životem).



Převodní systém srdce

Z A-V uzlu vychází Hisův svazek, který je jediným vodivým spojením síní a komor, přemostňuje nevodivý vazivový srdeční skelet, na který se upínají chlopně. Je-li Hisův svazek přerušen, nemůže docházet ke koordinované kontrakci síní a komor. V komorové části převodního systému se vzruch šíří rychlostí 1,4-4m/s. Tato velká rychlost způsobí, že po převodním systému komor se vzruch rozšíří přibližně za 0,03s. Stejnou dobu trvá, než se vzruch rozšíří po celé svalovině komor. Po ní se spirálovitě šíří z vnitřního povrchu od zakončení Purkyňových vláken na vnější povrch (k epikardu). Po svalovině komor je rychlost šíření 0,3m/s a vzruch se po komorách rozšíří za 0,06 s. Vzhledem k tomu, že depolarizace trvá přibližně 200 ms dá se říci, že kontrakce svalových vláken komor, která je AP vyvolána, je téměř synchronní. K synchronizaci kontrakce komor přispívá i skutečnost, že Purkyňova vlákna jsou v depolarizovaném stavu o 25% času déle než vlákna svalová.

V případě poruchy převodu vzruchu mezi síněmi a komorami (v Hisově svazku) se Purkyňova vlákna stávají místem terciární srdeční automacie. Nejčastěji se však poruchy vyskytují na úrovni Tawarových ramének, hovoříme o blokáde pravého či levého raménka. Na obrázku je schematicky znázorněno za jakou dobu se rozšíří a jakou rychlostí se šíří vzruch v jednotlivých částech srdce. Poruchy převodního systému srdce se projevují změnou tepovou frekvencí. Tepová frekvence menší jak **50 tepů/min** se nazývá **bradykardie** a větší jak **100 tepů/min** **tachykardie**. Při poruše vzniku a vedení AP v převodním systému se

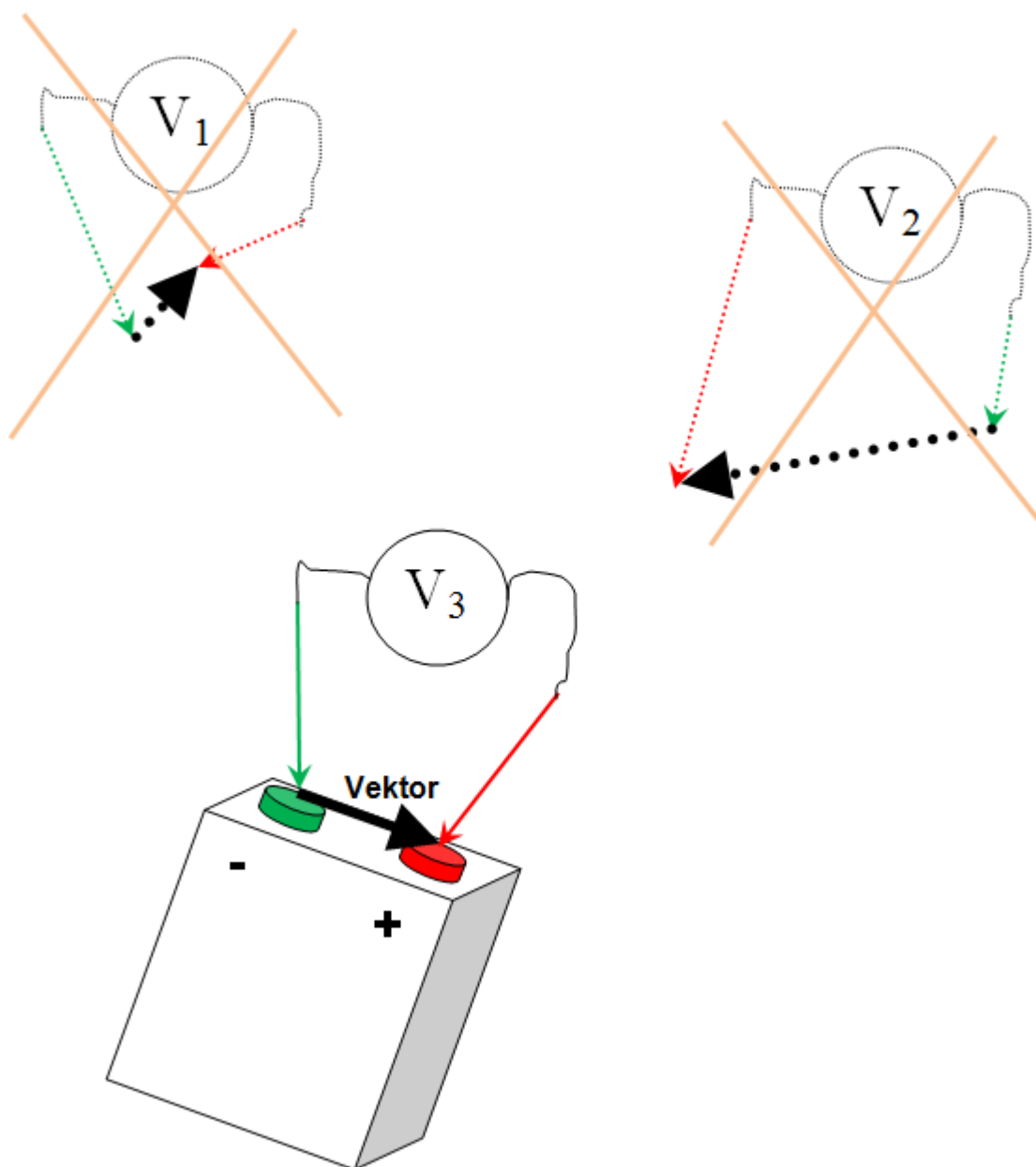
používají přístroje, kterými lze stimulovat vznik vzruchu v srdeční svalovině - nazývají se kardiostimulátory (pacemakery).

Vzruch se po jednotlivých svalových vláknech srdce šíří pomocí místních proudů, které vznikají v důsledku potenciálového rozdílu mezi ještě polarizovanou a již depolarizovanou částí svalového vlákna. Tento potenciálový rozdíl lze popsat vektorem odpovídajícího směru a velikosti.

Pro diagnostické účely měříme projevy elektrické srdeční aktivity na povrchu těla. Jistě lze předpokládat, že potenciál naměřený v daném místě na povrchu těla bude superpozicí vlivu všech elektricky aktivních svalových vláken srdce. Přijmeme-li toto tvrzení, můžeme vytvořit elektrický model srdce. Předpokládejme, že vlastní rozměr srdce můžeme zanedbat vzhledem ke vzdálenosti míst na povrchu těla, kde potenciál snímáme. V tom případě můžeme jednotlivé vektory, odpovídající v každém časovém okamžiku šíření vzruchu v jednotlivých svalových vláknech, umístit do společného působíště a tím je střed srdce.

Vektorovým součtem těchto vektorů, dostaneme vektor jeden, který nazýváme **výsledný (úhrnný) srdeční vektor**. Tento výsledný vektor bude v čase v důsledku šíření vzruchu po srdci měnit svůj směr i velikost.

Sledování elektrické srdeční aktivity na povrchu těla můžeme interpretovat jako sledování elektrického srdečního vektoru. V podstatě lze říci, že při šíření vzruchu dochází k depolarizaci a repolarizaci membrán jednotlivých buněk převodního myokardu. Dochází tedy ke změnám polarity membrán a změně celkového náboje na vnějším a vnitřním povrchu membrán. Jakkoli nedochází k žádným velkým přesunům nábojů kvantitativně, kvalitativně to stačí k vytvoření měřitelných elektrických polí. Je to jako na baterii. Vektor elektrického pole určuje směr od jednoho pólu baterie k druhému. Můžete si sami provést malý pokus s baterií a voltmetrem. Baterii umístíte následovně.



Na obrázku jsou tři voltmetry různě položené vzhledem k baterii. Černá šipka ukazuje jakýsi vektor, tedy polohu vzdálenost a směr od jednoho hrotu voltmetru k druhému. Z obrázku je zřejmé, že jen poslední voltmetr V₃ bude schopen změřit napětí na baterce, neboť jeho měřicí hroty mají stejnou polohu, jako jednotlivé póly + a - baterie. Zde tedy „Vektor“ znázorňuje také prostorové natočení správně měřené baterie.

Elektrická aktivita srdce – metody měření – fyzikální principy

Spaciokardiografie

- zobrazení elektrického srdečního vektoru v prostoru

Zvolme ortogonální systém souřadnic x , y , z . Změříme-li v každém časovém okamžiku potenciál ve směru jednotlivých os, budou tyto potenciály udávat souřadnice koncového bodu srdečního vektoru. Trajektorie, kterou opíše koncový bod za jeden srdeční cyklus, se nazývá **spaciokardiogram (poprvé popsáný českým fyziologem Vilémem Laufbergerem)**. Spaciokardiogram se skládá z jednotlivých prostorových kliček **P**, **QRS** a **T**. Klička **P** odpovídá šíření depolarizační vlny v síních, klička **QRS** odpovídá šíření depolarizační vlny v komorách. Klička **T** odpovídá šíření repolarizační vlny v komorách. Chybí klička **T_a** odpovídající repolarizaci síní. Repolarizace síní se časově překrývá s depolarizací komor. Vzhledem k tomu, že při depolarizaci komor je velikost úhrnného vektoru podstatně větší než je tomu u repolarizace síní, je klička **T_a** zcela překryta kličkou **QRS** a projeví se pouze při poruše převodního systému komor, kdy **QRS** klička je potlačena.

Vektokardiografie

- zobrazení elektrického srdečního vektoru v rovině

Zvolme ortogonální systém dvou os x , y . Změříme-li v každém časovém okamžiku potenciál ve směrech těchto os, budou potenciály udávat souřadnice koncového bodu srdečního vektoru v rovině. Trajektorie, kterou opíše tento bod v jednom srdečním cyklu se nazývá **vektokardiogram**. Vektokardiogram je možno chápat jako kolmou projekci spaciokardiogramu do dané roviny. Vektokardiogramy se konstruuji v rovině sagitální, horizontální a nejčastěji v rovině frontální. Na vektokardiogramu lze opět vysledovat jednotlivé kličky **P**, **QRS** a **T**, odpovídající postupné depolarizaci síní, depolarizaci komor a repolarizaci komor. Vektokardiogram lze s výhodou zobrazit na osciloskopu, jestliže na

horizontální a vertikální vychylovací systém přivedeme napětí změřené ve dvou kolmých směrech.

Elektrokardiografie

- jednorozměrné zobrazení elektrického srdečního vektoru rozvinuté v čase

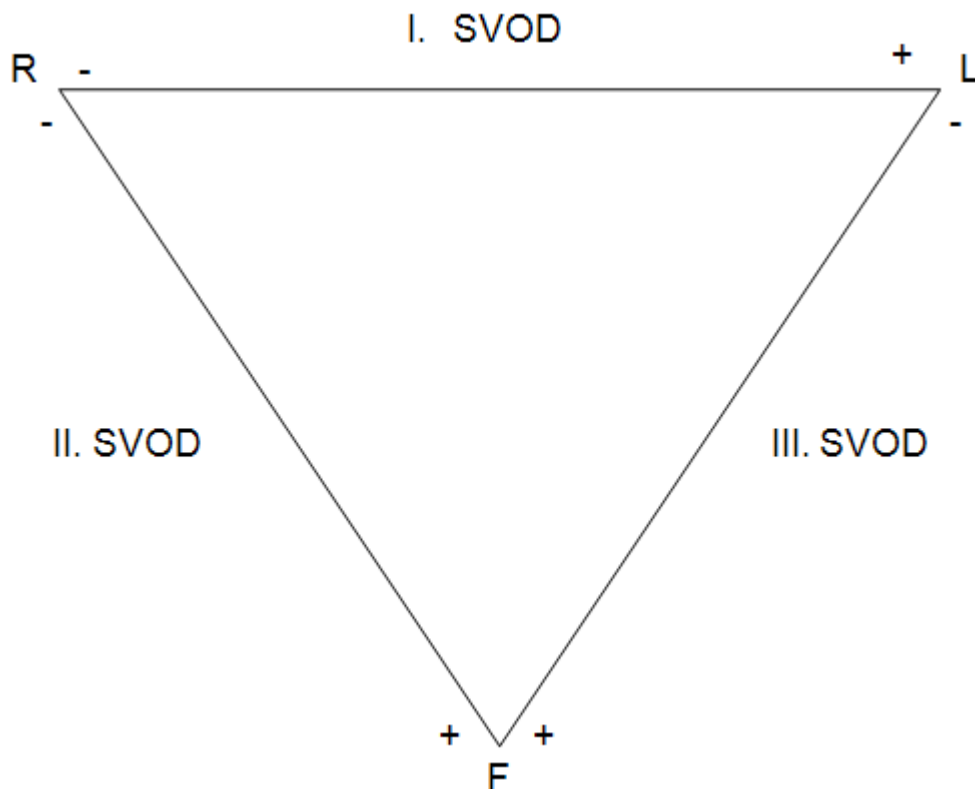
Uvedené dva způsoby zobrazení pohybu srdeční vektoru mají jednu nevýhodu, nepopisují tento pohyb v čase. Teoreticky bychom tedy museli ke každému bodu trajektorie připsat čas, ve kterém se koncový bod vektoru v daném místě nacházel. Tuto nevýhodu odstraňuje nejrozšířenější a historicky nejstarší způsob snímání elektrických projevů srdce z povrchu těla a tím je **elektrokardiografie**. Jistě si lze představit, že můžeme provést kolmou projekci vektokardiogramu do zvoleného směru v dané rovině, čímž získáme jeho jednorozměrovou projekci. Tuto projekci získáme tak, že budeme měřit v každém časovém okamžiku potenciál v souřadnicové ose odpovídající danému směru. Trajektorií koncového bodu srdečního vektoru bude množina bodů tvořící úsečku na dané ose. Ke každému bodu úsečky lze připsat odpovídající časový okamžik, kdy se v daném bodě bude koncový bod srdečního vektoru v dané projekci nacházet. Jestliže místo toho v grafu zvolíme časovou osu, lze snadno rozvinout tuto jednorozměrovou projekci v čase, čímž získáme křivku, která se nazývá **elektrokardiogram**. **Elektrokardiogram** je tedy časový záznam průběhu šíření vzruchu po srdeční svalovině snímáný na zvoleném místě povrchu těla. Elektrokardiogram se skládá z vln a kmitů. Kličce **P** odpovídá vlna **P**, kličce **QRS** odpovídají kmity **Q**, **R**, **S**, které se dohromady označují jako **QRS** nebo **komorový komplex**, kličce **T** odpovídá vlna **T**. Někdy na EKG zaznamenané vlnu **U**, která se někdy připisuje depolarizaci papilárních svalů.

EKG svody

Elektrokardiogram lze měřit na libovolném místě povrchu těla. Aby bylo možno elektrokardiogramy srovnávat a vhodně interpretovat, bylo nutno stanovit pravidla pro snímání EKG. Nejrozšířenější jsou pravidla, která zavedl Holandán Einthoven (Willem 1860-1927, Nobelova cena 1924), který vyšel z těchto předpokladů:

1. elektrickou srdeční aktivitu sledujeme ve frontální rovině

2. srdce leží v těžišti rovnostranného trojúhelníka, jehož vrcholy jsou levý bérce a pravé a levé zápěstí upažených horních končetin
3. napětí mezi jednotlivými vrcholy Einthovenova trojúhelníka měříme s takovou polaritou registračního přístroje, aby se stejná změna napětí (kladná či záporná) projevila stejně, viz. obrázek.



Bipolární končetinové svody

Tímto předpisem Einthoven definoval tři **bipolární končetinové svody I, II, a III.**

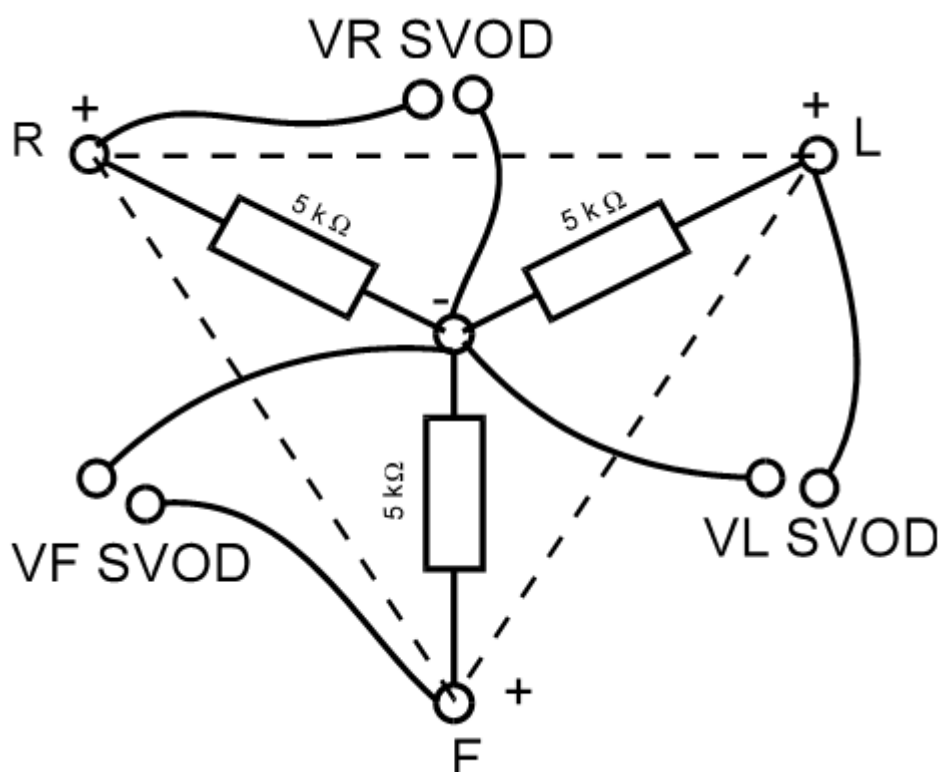
- **I.** svod je napětí mezi levou a pravou horní končetinou,
- **II.** svod je napětí mezi pravým zápěstím levým bérce a
- **III.** svod je napětí mezi levým zápěstím a levým bérce.

Bipolární se svody nazývají proto, že se velikost napětí pod každou snímací elektrodou (pólem) během srdečního cyklu mění (nějak by bylo třeba se vyrovnat s isoelektrickou linií; to se napětí nemění). Vzhledem k uvedeným předpokladům lze použitím [II. Kirchhoffova zákona](#) odvodit, že v každém časovém okamžiku pro napětí na jednotlivých svodech platí:

$$u_{II} = u_I + u_{III}$$

Tomuto vztahu se říká **Einthovenův zákon**. Každý svod definuje určitý směr ve frontální rovině. Můžeme tedy říci, že napětí v daném svodu v každém časovém okamžiku je kolmým průmětem elektrického srdečního vektoru do směru daného svodu.

Jestliže elektricky vodivě spojíme vrcholy Einthovenova trojúhelníku přes odpory 5 kiloohmů do jednoho uzlu, dostaneme **Wilsonovu** (centrální) **svorku**, jejíž potenciál se během srdečního cyklu nemění. Mezi Wilsonovou svorkou a druhou, tzv. explorativní elektrodou, pod níž se potenciál v průběhu srdeční činnosti mění snímáme tzv. **unipolární svody**. Podle umístění této **explorativní** elektrody rozeznáváme dvě skupiny unipolárních svodů, končetinové a hrudní. Končetinové svody jsou definovány napětím mezi vrcholy Einthovenova trojúhelníku a Wilsonovou svorkou. Polarita měřícího přístroje je ve všech svodech definována tak, že jeho minus pól je připojen ke svorce.



Unipolární končetinové svody

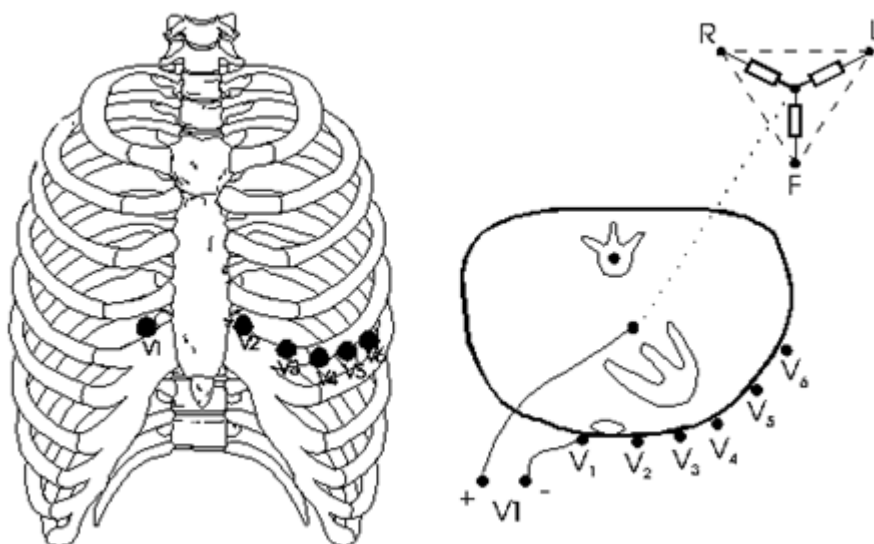
Svod **VR** je napětí mezi pravým zápěstím a Wilsonovou svorkou

Svod **VL** je napětí mezi levým zápěstím a Wilsonovou svorkou

Svod **VF** je napětí mezi levým bércelem a Wilsonovou svorkou

Každý svod opět definuje určitý směr ve frontální rovině.

Hrudní svody **V1 - V6** jsou definovány napětím mezi šesti definovanými místy na hrudníku a Wilsonovou svorkou.



Unipolární hrudní svody

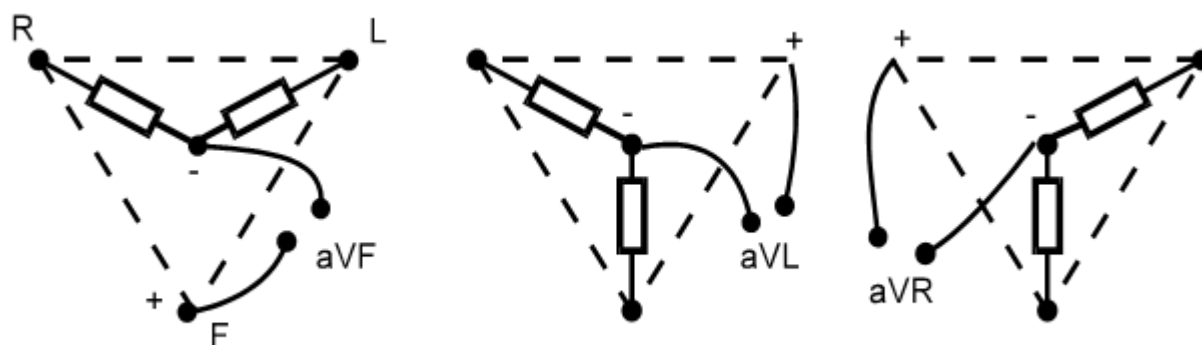
Svod V1 je ve 4. mezižebří vpravo od sterna

Svod V2 je ve 4. mezižebří vlevo od sterna

Svody V3 - V6 jsou rozmístěny rovnoměrně dále vlevo s tím, že svod V6 je v 5. mezižebří ve střední čáře axilární.

Hrudní svody také jednoznačně definují určité směry, ale v horizontální rovině.

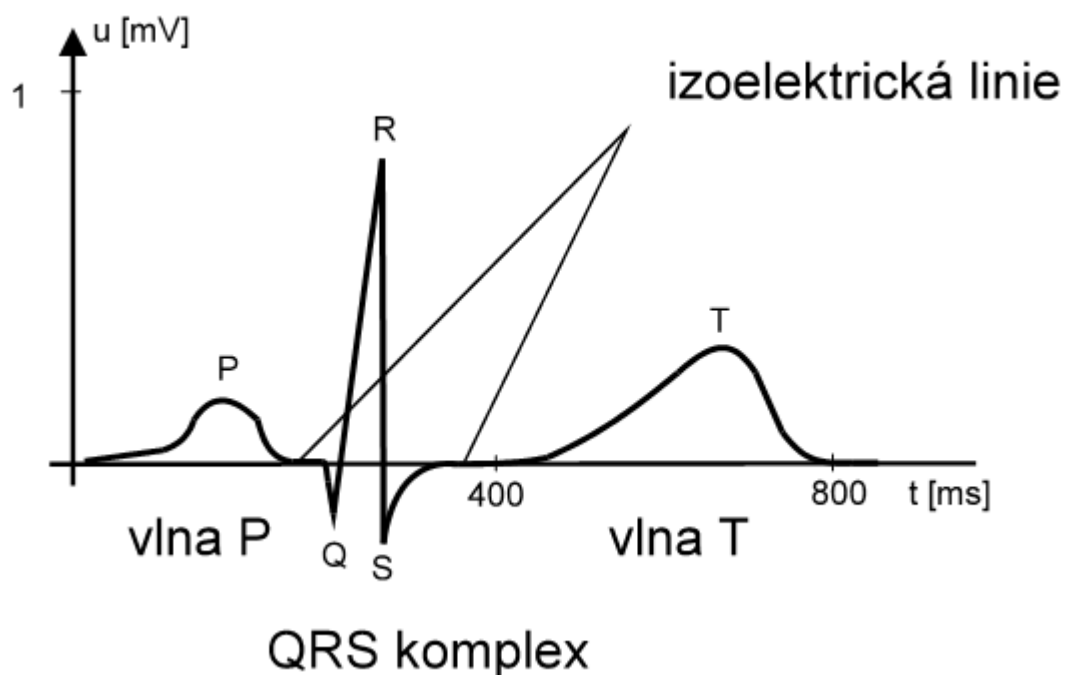
Vzhledem k tomu, že končetinové unipolární svody mají malou amplitudu, zavedl Goldberger **zvýšené unipolární** (semiunipolární) **končetinové svody**, které vzniknou z unipolárních svodů odpojením měřeného místa od Wilsonovy svorky. Tyto svody značíme **aVL, aVR, aVF** (kde **a** je z lat. augmentare či angl. augmented).



Zvýšené unipolární svody

Jak jsme již naznačili, EKG v daném svodu je časové rozvinutí kolmého průmětu vektokardiogramu v rovině do směru daného tímto svodem. Z tohoto tvrzení vyplývá, že známe-li vektokardiogram ve frontální rovině, známe zároveň elektrokardiogramy v každém svodu, který je v této rovině definován, tedy svody **I, II, III, VR, VL, VF, aVL, aVF, aVR**.

Popíšme podrobně typický průběh vektokardiogramu ve frontální rovině a jemu odpovídající průběh EKG v I. svodu, znázorněný na obrázku níže. Jednotlivé vlny a kmity EKG záznamu jsme si již popsali. Všimněme si ještě významu časových intervalů mezi vlnou **P**, začátkem komplexu **QRS**, jeho koncem a vlnou **T**, ve kterých se napětí mezi elektrodami nemění a označujeme je jako izoelektrické linie. Izoelektrická linie mezi **P** a **QRS** odpovídá zpoždění v šíření vzruchu, ke kterému dochází v A-V uzlu (120ms). Izoelektrická linie mezi **QRS** a **T** odpovídá úseku "plató" (200 ms) na časovém průběhu akčního potenciálu srdečního svalu. V tomto časovém úseku zůstává svalové vlákno depolarizováno, potenciál na membráně se tedy téměř nemění a srdeční vektor je tudíž nulový.



Typický průběh EKG

Depolarizace síní

vlna P

Repolarizace síní

aurikulární T (aT) - je ploše negativní a
bývá skryto v QRS komplexu

Depolarizace komor

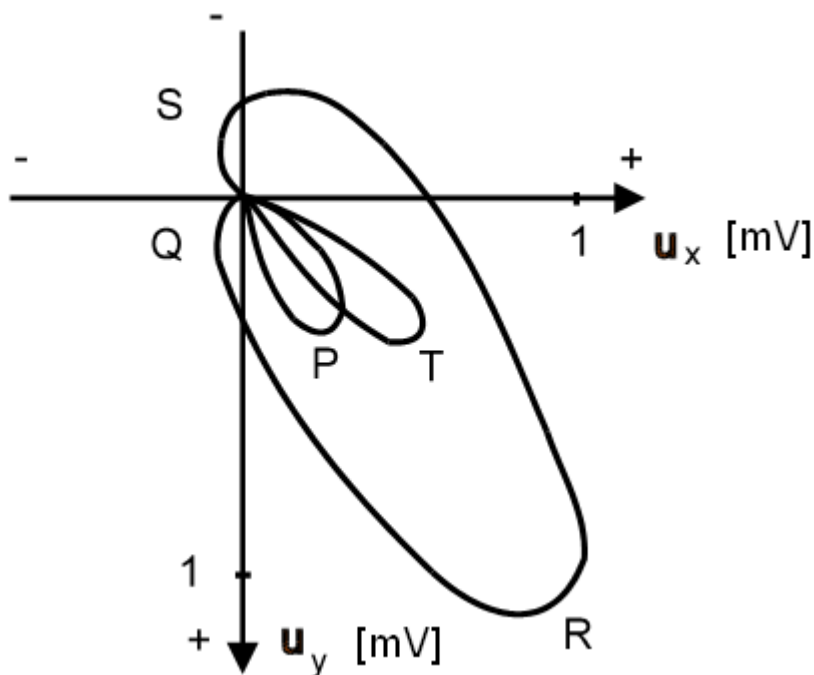
QRS komplex

Fáze plató, počátek
repolarizace komor

ST úsek

Repolarizace komor

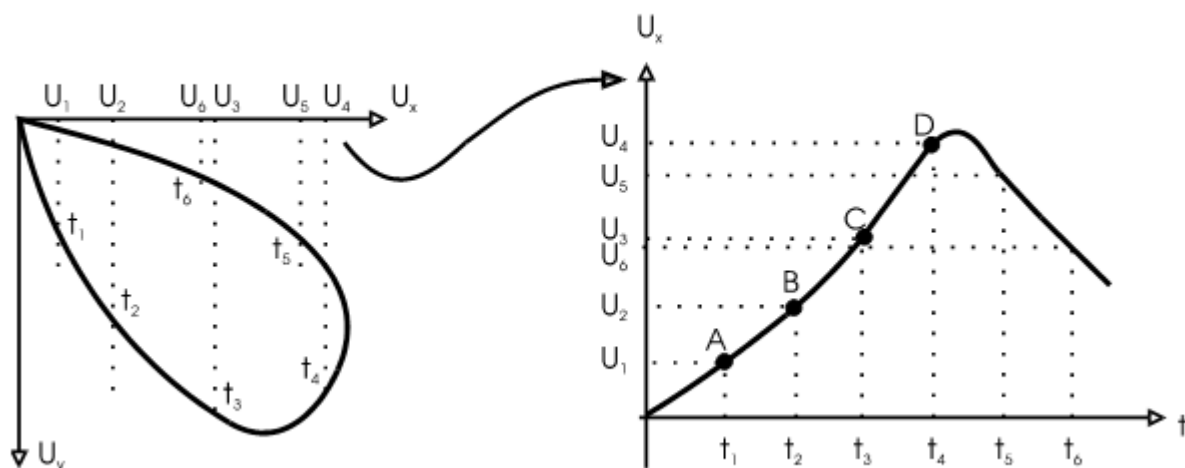
T vlna



Vektokardiogram ve frontální rovině

KLÍČKA P

VLNA P



Konstrukce vlny P z klíčky P vektokardiogramu

Maximální množství informace vyčteme ze spaciokardiogramu. Vektokardiogram je projekcí spaciokardiogramu do roviny, z čehož vyplývá, že nese menší množství informace. Je zřejmé, že elektrokardiogram, který je daným rozvinutím projekce vektokardiogramu do směru v rovině, nese ještě menší množství informace. Z těchto důvodů je nutné, abychom pro diagnostické účely snímali více elektrokardiogramů, tj. více svodů najednou. Zcela teoreticky vzato, ze dvou svodů v rovině lze již konstruovat vektokardiogram. Změříme-li ještě

dva svody v jiné rovině, získáme druhý vektokardiogram. Ze dvou vektokardiogramů v různoběžných rovinách již můžeme rekonstruovat spaciokardiogram. V praxi se však pro diagnostické účely využívá zejména elektrokardiogramů a standardně se měří 12-ti svodové EKG, tj. snímá se 12 svodů a to **I, II, III, aVL, aVR, aVF, V1 - V6**. Na EKG se hodnotí jednak časové rozložení jednotlivých vln a kmitů a jednak jejich amplituda a tvar. Popis EKG bude předmětem studia v normální a patologické fyziologii. Zmíníme se pouze o dvou parametrech.

Základním parametrem je frekvence periodické kontrakce srdce (tepová frekvence [min^{-1}]). Odečtením časového intervalu mezi dvěma opakujícími se záznamy na EKG, např. intervalu t_{R-R} [ms] mezi dvěma po sobě jdoucími kmity **R** určíme tepovou frekvenci TF ze vztahu

$$TF = \frac{1000}{t_{R-R}[\text{ms}]} 60 \left[\frac{\text{tepů}}{\text{min}} \right]$$

Známe-li rychlost posunu registračního papíru při záznamu EKG v [mm/s], můžeme TF určit ze vzdálenosti sousedních kmitů d_{R-R} [mm] ze vztahu

$$TF = \frac{v \left[\frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]}{d_{R-R}[\text{mm}]} 60 \left[\frac{\text{tepů}}{\text{min}} \right]$$

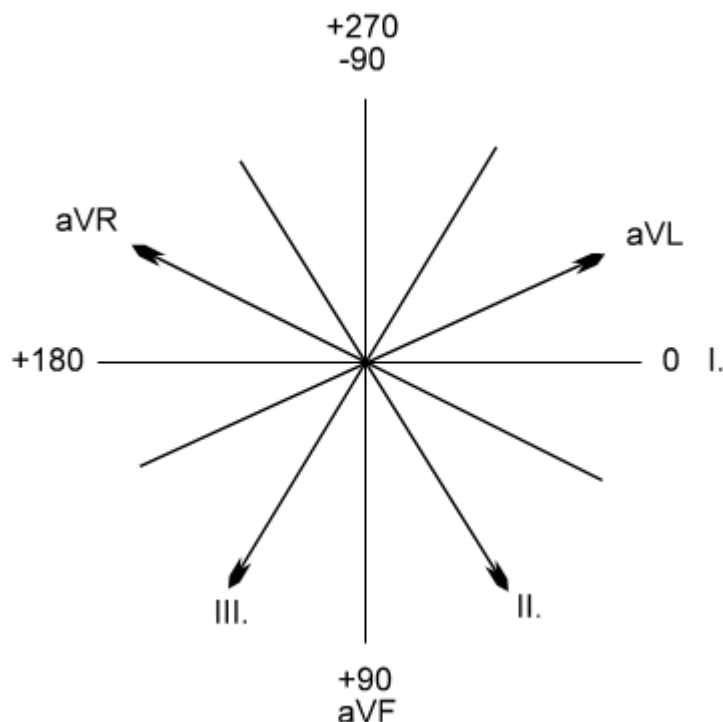
Jak bylo již naznačeno, lze z elektrokardiogramů konstruovat vektokardiogram a to přesně opačným postupem než který jsme použili při rekonstrukci EKG z [vektokardiogramu](#). Tento postup se nepoužívá. Běžně se však určuje jeden parametr, který s rekonstrukcí vektokardiogramu souvisí a tím je **sklon elektrické osy srdeční**. Sklon elektrické osy srdeční je zcela obecně definován jako úhel, který svírá srdeční vektor promítnutý do dané roviny se zvoleným směrem v této rovině v určitém časovém okamžiku. Prakticky určujeme úhel, který svírá projekce elektrického srdečního vektoru do frontální roviny s kladným směrem **I**. svodu v okamžiku maximální velikosti elektrického srdečního vektoru při depolarizaci komor. Takto definovaný sklon elektrické osy srdeční velice přibližně řečeno bude odpovídat směru dlouhé anatomické osy srdce, čili bude určovat směr od srdeční baze k srdečnímu hrotu. Vzhledem k tomu, že za normálních okolností je srdeční hrot orientován směrem dolů ve frontální rovině, byla stanovena pro odečítání úhlů jiná

konvence než je tomu v matematice. Úhel elektrické osy srdeční roste ve směru hodinových ručiček počínaje nulovou hodnotou, která je dána kladným směrem **I.** svodu. Úhel od 270° do 360° se označuje jako záporný tj. od 0° do 90° . Vzhledem k tomu, že není možné ze záznamů EKG vždy jednoznačně určit okamžik, kdy elektrický srdeční vektor má maximální hodnotu, určuje se sklon elektrické osy srdeční z úhrnné amplitudy **QRS** komplexu. Jak jsme si uvedli dříve, že vektor a tedy i srdeční vektor má směr k místu momentální největší elektrické aktivity. V případě **QRS** komplexu je největší elektrická aktivita v oblasti srdečních komor, přičemž největší hustota aktivní hmoty a tedy elektrické aktivity je v oblasti srdečního hrotu. Polopaticky řečeno, kdybychom chtěli nyní změřit rozdíl potenciálů (= napětí) na povrchu srdce, museli bychom jeden hrot voltmetru „zapíchnout“ do neutrální oblasti = „středu srdce“ a druhý do místa největší aktivity = srdečního hrotu. Pak by, ve fyziologickém případě, černá šipka mezi měřicími hroty – elektrický vektor srdeční ukazovala ve stejném směru, jako dlouhá osa srdeční. V případě nějakých závažných poruch – nekróza, zjizvení vodivé tkáně, ..., např. vlivem infarktu myokardu, a následné ztrátě schopnosti elektrické aktivity tohoto místa, posouvá se pak celkové místo největší hustoty elektrické aktivity srdeční a proto bychom také museli posouvat pomyslný měřicí hrot, abychom něco změřili, a proto se také posouvá, resp. otáčí pomyslná šipka = elektrický vektor srdeční a tím se tedy mění sklon elektrické osy srdeční. Úhrnná amplituda **QRS** komplexu je definována jako algebraický součet velikostí jednotlivých kmitů **Q**, **R**, **S**. Prakticky to znamená, že od amplitud kmitů nad izoelektrickou linií odečítáme amplitudy kmitů pod izoelektrickou linií.

Sklon elektrické osy srdeční můžeme určit odhadem, graficky nebo výpočtem. Při přibližném odhadu sklonu elektrické osy srdeční vyjdeme z těchto tvrzení:

1. Každý svod definuje určitý směr v rovině, viz [obr.](#)
2. Je-li některá úhrnná amplituda **QRS** komplexu v daném svodu nulová, znamená to, že elektrická osa srdeční je kolmá k danému svodu. Toto tvrzení vyplývá z toho, že napětí v daném svodu je kolmým průmětem srdečního vektoru do tohoto svodu.
3. Je-li úhrnná amplituda **QRS** komplexu v některém svodu maximální (bez ohledu na znaménko) a úhrnné amplitudy **QRS** komplexů ve zbývajících svodech jsou menší a přibližně stejné, znamená to, že

elektrická osa srdeční je rovnoběžná s daným svodem, neboť napětí ve svodu je velikostí přímo rovno elektrickému srdečnímu vektoru a tudíž v žádném jiném svodu nemůže být kolmý průmět elektrického srdečního vektoru větší.



Směry jednotlivých svodů ve frontální rovině

Při určování sklonu elektrické osy srdeční přibližnou metodou postupujeme takto:

- určíme svod, ve kterém je minimální úhrnná amplituda **QRS**, tím máme definován přibližně směr, ve kterém leží elektrická osa srdeční
- ze znaménka úhrnné amplitudy **QRS** komplexu ve svodu, kde je tato amplituda maximální rozhodneme o orientaci osy srdeční ve směru, který jsme určili podle předchozího bodu

Tato metoda umožňuje určit sklon elektrické osy srdeční s přesností 30°.

Další metodou je grafické určení sklonu elektrické osy srdeční, při kterém se využívá úhrnných amplitud **QRS** komplexů v bipolárních svodech **I**, **II** a **III**.

Při konstrukci se postupuje takto:

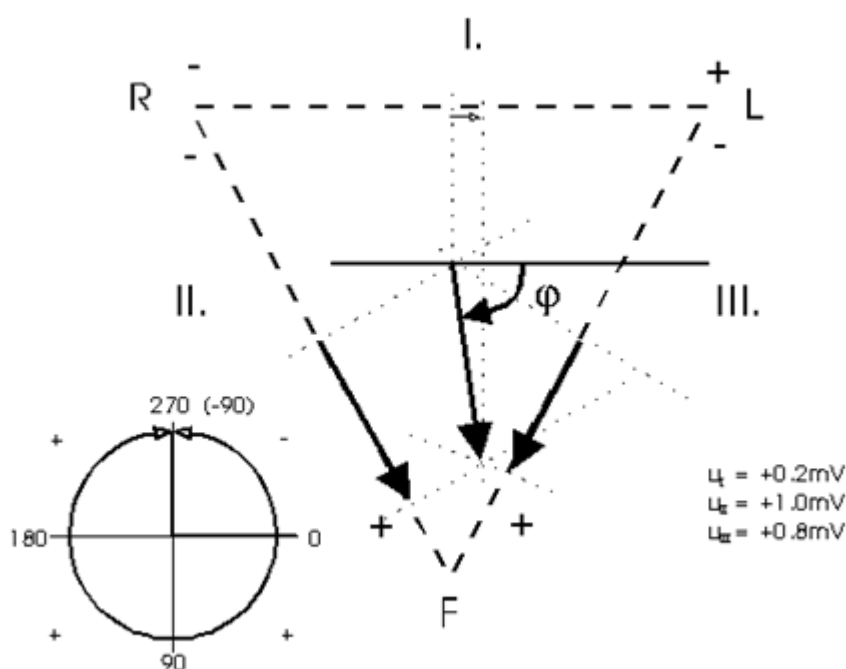
1. určíme úhrnné amplitudy **QRS** komplexů ve dvou libovolných svodech, pro třetí svod by mělo platit ($u_{II} = u_I + u_{III}$)
2. S respektováním znaménkové konvence vyneseme tyto úhrnné amplitudy jako vektory do stran Einthovenova trojúhelníku s tím, že počáteční body vektorů budou ve středu příslušných stran.
3. Z koncových bodů těchto vektorů spustíme kolmice. Z počátečních bodů vektorů kolmice spouštět nemusíme, protože jejich průsečíkem bude vždy těžiště trojúhelníku.
4. Těžiště trojúhelníku a průsečík těchto kolmic určují počáteční a koncový bod vektoru A, jehož směr a orientace udává sklon elektrické osy srdeční.

Z uvedené konstrukce vychází i metoda pro výpočet sklonu elektrické osy srdeční. Podle následujícího obrázku platí:

$$u_I = A \cdot \cos(\alpha)$$

$$u_{II} = A \cdot \cos(60 - \alpha)$$

$$u_{III} = A \cdot \cos(120 - \alpha)$$



Konstrukce elektrické osy srdeční

Úpravou třetí rovnice podle vztahu $\cos(a-b) = \cos(a) \cdot \cos(b) + \sin(a) \cdot \sin(b)$ (kde $a = 120$ a $b = \alpha$) a jejím vydělením první rovnicí dojdeme ke vztahu:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{2}{\sqrt{3}}\left(\frac{u_{III}}{u_I} + 0,5\right)\right)$$

Při aplikaci tohoto vztahu je nutno si uvědomit, že funkce tangens má periodu π . Jinými slovy řečeno, ze vztahu vyplývá, že stejného výsledku dosáhneme pro obě kladné nebo pro obě záporné úhrnné amplitudy v **I.** a **III. svodu**. Nejjednodušší je metoda, která využívá úhrnné amplitudy **I.** svodu a **aVF** svodu, které jsou navzájem kolmé. V této souvislosti si musíme uvědomit, že amplitudy bipolárních a zvýšených unipolárních svodů jsou v poměru $1 : 3/2$, který vyplývá z rozdílné vzdálenosti míst, ve kterých měříme napětí v unipolárních a bipolárních svodech. Podle této metody jsou souřadnice koncového bodu elektrického srdečního vektoru v ortogonálním systému souřadnic x, y dány úhrnnou amplitudou **QRS** komplexu **I.** svodu ve vodorovné ose x a $2/3$ násobkem úhrnné amplitudy **QRS** komplexu **aVF** svodu ve svislé ose y . Počáteční bod vektoru je v počátku souřadnicového systému. Sklon elektrické osy srdeční lze pak určit graficky nebo vypočítat ze vztahu:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{u_{aVF}}{u_I}\right)$$

Za fyziologický je považován sklon elektrické osy srdeční od -30° do 110° . Stejným způsobem jako tomu bylo ve frontální rovině, můžeme uvažovat o sklonu osy srdeční v rovině horizontální s využitím úhrnných amplitud hrudních svodů. Nevýhodou jejich použití je fakt, že amplitudy hrudních svodů si neodpovídají, neboť se mění vzdálenost elektrod mezi kterými měříme napětí. Jestliže použijeme stejné konvence k určování sklonu elektrické osy srdeční jako jsme použili ve frontální rovině, je za fyziologický považován sklon osy srdeční v horizontální rovině od -30° do $+30^\circ$.

Krevní tlak

Jako další parametr charakterizující nejen srdeční činnost ale i celkový oběhový systém je **krevní tlak**. Krevní tlak měříme pomocí přístrojů s manžetami, tonometrů a to jak analogových – např. rtuťový tonometr s fonendoskopem, tak číslicových tedy digitálních. Zde buď poslechově nebo pomocí přístroje sledujeme dvě významné akustické události. V principu

postupujeme následovně – umístíme standardním způsobem nebo dle příslušného návodu manžetu přístroje na měřenou paži. Poté manžetu nafoukneme na vyšší tlak než je předpokládaný nejvyšší tlak krve v měřeném místě. Tím se manžetou v daném místě plně uzavře průtok krve. Poté snižujeme tlak v manžetě. Jakmile se tlak v manžetě vyrovná nejvyššímu – systolickému tlaku krve **STK** v měřeném místě, začne místem postupně proudit krev v časových úsecích, právě když bude tlak krve momentálně vyšší, než tlak v manžetě. Takové proudění je, díky snížení poloměru tepny, až turbulentní (tedy jde o proudění, při kterém se částice tekutiny nepohybují jen rovnoběžně s podélnou osou trubice a tvoří se víry, opakem je proudění laminární) a je provázeno mechanickým kmitáním stěn tepny a jejího okolí, jehož kmitočet je v oblasti slyšitelného zvuku. Příslušný akustický signál má charakter šumu a podle autora, který jej popsal se nazývá **Korotkovovy fenomény** (zvuky). Sledujeme, kdy se začnou projevovat – tedy tlak v manžetě poklesl pod maximální tlak krve. Tuto událost zaznamenáme a zapíšeme jako hodnotu systolického tlaku krve. Druhou důležitou událostí je okamžik, kdy přestaneme Korotkovovy zvuky slyšet. Nedochozí již k uzavírání místa průtoku krve a to z důvodu poklesu tlaku v manžetě pod nejnižší tlak krve v arteriálním systému – diastolický tlak krve **DTK**. Měříme vždy tlak v manžetě, který pomocí pozorování Korotkovových fenoménů přirovnáváme v příslušných okamžicích k příslušnému tlaku krve. Výslednou významnou veličinou popisující tlak krve je střední tlak krve **mTK**. Vzájemný vztah jednotlivých veličin lze popsat pomocí vztahu:

$$mTK = \frac{1}{3}STK + \frac{2}{3}DTK$$

nebo také:

$$mTK = DTK + \frac{1}{3}TA$$

$$TA = STK - DTK$$

- kde TA je **tlaková amplituda**

Mnemotechnicky si lze zapamatovat takto. Ve vzdálenějších místech od srdce – distálně za manžetou, kde většinou pozorujeme Korotkovovy fenomény, je po většinu srdečního cyklu tlak blízký nejnižšímu tlaku krve

(stále se snižuje až do další kontrakce komor a vypuzení krve do krevního oběhu). A to po dobu cca 2/3 srdečního cyklu. Kratší tlakový puls s tlakem bližším maximálnímu krevnímu tlaku je přítomen po dobu cca 1/3 srdečního cyklu.

Další důležitou veličinou popisující více činnost srdce je střední ejekční tlak krve. Je to střední tlak krve, pod kterým je krev vypuzována v ejekční fázi systoly. Opět, jako mnemotechnickou pomůcku, lze hrubě a velmi zjednodušeně říci, že v době ejekce krve je krevní tlak po cca 80 % doby ejekce velmi blízko hodnotám nejvyššího krevního tlaku **STK** a po 20 % doby ejekce (na jejím konci) blízko hodnotám nejnižšího krevního tlaku **DTK**. Střední ejekční tlak krve **mETK** pak lze určit takto:

$$mETK = 0,8STK + 0,2DTK$$

Tato veličina je velmi důležitá pro další výpočty při určování práce srdce apod.